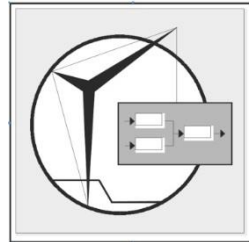


B a u h a u s - U n i v e r s i t ä t W e i m a r

Fakultät Bauingenieurwesen
Professur Baubetrieb und Bauverfahren



Bachelorarbeit

***Building Information Modeling* im Erdbau – Eine
Potentialanalyse im Spezialtiefbau**

Zur Erlangung des akademischen Grades
"Bachelor of Science"

Eingereicht von: Tobias Steinkrauß
Geboren: 14.04.1989, Meerbusch
E-Mail: tobias.steinkrauss@uni-weimar.de
Matrikel-Nr.: 110800

Eingereicht am: 16.05.2016
Reg.-Nr.: MBB/2016/03
Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc.
Zweitprüferin: Dipl.-Ing. Jenny Rütz

Bauhaus-Universität Weimar

Fakultät Bauingenieurwesen

Professur Baubetrieb und Bauverfahren

Aufgabenstellung zur Bachelorarbeit

Reg.-Nr. MBB/2016/03

Name: Tobias Steinkrauß (tobias.steinkrauss@uni-weimar.de)
geb. am 14.04.1989 in Meerbusch
110800

Thema: ***Building Information Modeling*** im Erdbau – Eine
Potentialanalyse im Spezialtiefbau

Wissenschaftsgebiet: Baubetriebswesen

Betreuung der Arbeit

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt M.Sc.

Zweitprüferin: Dipl.-Ing. Jenny Rütz

Ausgabedatum: 04.04.2016

Abgabedatum: 30.05.2016

Prof. Dr. Morgenthal

Vorsitzender des Prüfungsausschusses

***Building Information Modeling* im Erdbau – Eine Potentialanalyse im Spezialtiefbau**

Erläuterung

Im Hochbau findet *Building Information Modeling* großen Zulauf, wohingegen im Erdbau sich diese Anwendung noch in den Anfängen befindet. Die ereignisorientierte Modellierung bietet die Möglichkeit, die Planungs- und Bauprozesse hinsichtlich Kosten, Termine, Qualität und Planungssicherheit zu verbessern und somit die Effizienz auf Erdbaustellen zu steigern.

In der Arbeit wird untersucht, welches Potential die ereignisorientierte Modellierung im Erdbau bietet. Speziell diese Arbeit befasst sich mit dem Bereich Spezialtiefbau und geht auf den aktuellen Stand der Forschung ein.

Mit Hilfe vorhandener Publikationen und Forschungsarbeiten verschiedener Universitäten und namhafter Forschungsgruppe soll ein Überblick geschaffen werden. Die Ergebnisse dieser Recherche sollen eine Grundlage für die weitere Forschung in diesem Bereich bilden.

Parallel zu dieser Arbeit wird derzeit eine weitere Aufgabenstellung zu *Building Information Modeling* im Erdbau, speziell im Bereich Tiefbau bearbeitet. Geeignete gemeinsame Abschnitte wie z. B. übergeordnete Darstellungen können voneinander übernommen werden, wenn sie als solche gekennzeichnet sind.

Aufgabenstellung

- Ein- und Abgrenzung des Themas;
- Recherche zu Erdbau;
- Aufzeigen von Problemen auf Erdbaustellen;
- Recherche zu Erdbau im Bereich Spezialtiefbau;
- Allgemeine Begriffsklärung zu *Building Information Modeling*;
- Erarbeitung eines Anforderungsprofils für die sinnvolle Nutzung von BIM;
- Recherche der aktuellen Forschungssituation im Bereich Spezialtiefbau;
- Erstellen einer Übersicht der Forschenden;
- Recherche zu Praxisbeispielen.

Zusammenstellung der Arbeit

- Titelblatt
- Aufgabenstellung (im Original)
- Zusammenfassung *)
- Abstract *)
- Vorwort *)
- Inhaltsverzeichnis
- Abkürzungsverzeichnis *)
- Symbolverzeichnis *)
- Textteil
- Literatur-/Quellenverzeichnis
- weitere Verzeichnisse (Abbildungen, Tabellen, Tafeln, Zeichnungen) *)
- Anlagen/Anhang (ggf. zusätzliches Inhaltsverzeichnis) *)
- Selbstständigkeitserklärung
- Thesen

Die mit *) gekennzeichneten Teile sind nicht obligatorisch.

Für das Verfahren gilt die aktuell zutreffende Prüfungsordnung des Studiengangs der Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen.

Zum Abgabetermin sind

- 2 Exemplare der Arbeit (einschl. Anlagen) in gedruckter Fassung
- 1 elektronisches Exemplar der Arbeit (inkl. Anlagen und digitalem Literaturverzeichnis per E-Mail oder auf elektronischem Datenträger),

zu übergeben.

Zur Verteidigung sind

- die Abschlusspräsentation zur Arbeit in digitaler Version (E-Mail, elektr. Datenträger)
- 1 Poster mit Kernaussagen der Arbeit in DIN A1

zu übergeben. Das Einstellen der Arbeit in das Publikationsportal der Universitätsbibliothek (OPuS) ist vorzubereiten.

Organisatorische Hinweise:

Eine zwischenzeitliche Beratung an der Professur für Baubetrieb und Bauverfahren über den Weg und den Fortgang der Arbeit ist ausdrücklich erwünscht. Es sind mindestens zwei Konsultationen wahrzunehmen (Pflichtkonsultationen)

Internet-Fundstellen können, sofern sie einer glaubwürdigen Quelle entstammen, verwendet werden. Hierbei ist die jeweilige Internet-Seite mit kompletter Angabe des Pfades und mit Datum des letzten Aufrufs als Link (<http://www...>) im Quellenverzeichnis anzuführen.

Weimar, den

Prof. Dr.-Ing. H.-J. Bargstädt, M.Sc.

ERKLÄRUNG

Es entspricht meinem ausdrücklichen Wunsch, dass ich von der Professur Baubetrieb und Bauverfahren eine Abschlussarbeit zur Bearbeitung erhalte, für die nachfolgende Bedingungen gelten.

Ich wurde darauf hingewiesen, dass ich auch ein anderes Thema hätte erhalten können, für das diese Bedingungen nicht gelten würden.

Ich erkläre mich mit folgenden Punkten einverstanden:

1. Das Recht zur Veröffentlichung der Studienabschlussarbeit insgesamt oder in Teilen oder ihrer wesentlichen Ergebnisse steht ausschließlich meinen in der Aufgabenstellung genannten Betreuern zu. Sie sind jedoch nicht zu einer Veröffentlichung verpflichtet. Bei einer Veröffentlichung durch den Bearbeiter der Studienabschlussarbeit ist grundsätzlich die schriftliche Zustimmung der Betreuer einzuholen.
1. Mir ist bekannt, dass ich wegen des Praxisbezuges meiner Studienabschlussarbeit Informationen erhalten und Einblick in Unterlagen nehmen werde, die ich vertraulich zu behandeln habe und nicht an Dritte weitergeben darf. Mir ist weiterhin bewusst, dass ich Hard- und Software benutzen darf, für deren ordnungsgemäße Verwendung und Überwachung die Betreuer bzw. die durch sie verkörperten Einrichtungen entsprechend abgeschlossenen Lizenzverträgen und Abmachungen verantwortlich sind. Ich verpflichte mich insoweit zu größtmöglicher Sorgfalt.
2. Mir ist bekannt, dass eine Nichtbeachtung der Vorschriften zur Behandlung geschützter Hard- und Software sowie vertraulich zu behandelnder Informationen zu strafrechtlichen oder zivilrechtlichen Schritten führen kann (insbesondere Schadenersatzforderungen).
3. Ich erkläre hiermit ausdrücklich, dass die Arbeit keine Rechte Dritter (insbesondere Urheber- oder Persönlichkeitsrechte) verletzt. Sollte die Bauhaus-Universität dennoch wegen derartiger Forderungen dieser Dritten in Anspruch genommen werden, werde ich die Bauhaus-Universität von diesen Ansprüchen freistellen, sofern sie berechtigt sind.

Name, Vorname

geb. am/in

Studiengang

Matrikelnummer

Ort, Datum

Unterschrift Student(in)

Zusammenfassung

Jede Baumaßnahme ist durch einen Unikatcharakter geprägt. Individuelle Planung, Vergabe und Bauvorgänge stellen immer wieder aufs Neue eine große Herausforderung dar. Durch die sich teilweise sehr schnell ändernden Randbedingungen, müssen erarbeitete Abläufe häufig schnell geändert werden. Dies geschieht heutzutage meist auf Grundlage von Erfahrungen der am Bau Beteiligten. Auch bei bester Planung und Vorbereitung können Unwägbarkeiten den Bauprozess aufhalten. Das können ungeeigneter Baugrund, verschiedenste Hinderungen im Baufeld, schlechte Witterungsverhältnisse, Ausfälle von Maschinen, veränderte Zielsetzungen des Auftraggebers und vieles mehr sein. Dies führt zu Bauzeitverlängerungen und damit zu Kostensteigerungen.

Um diesen Problemen besser begegnen zu können und diesen komplexen und fehleranfälligen Prozess zu unterstützen, sind ein verbesserter Informationsfluss, genauere Bodenaufschlüsse und eine exaktere Dimensionierung des einzusetzenden Gerätes notwendig.

Aus diesen Gründen ist der Einsatz von *Building Information Modeling* (BIM) sinnvoll. BIM bietet die Möglichkeit den Informationsfluss zu verbessern, die Datengenauigkeit zu erhöhen und Abläufe zu optimieren. Außerdem ermöglicht die Anwendung Planungsschritte miteinander zu verknüpfen, Kalkulationen zu vereinfachen und das Erstellen eines intelligenten Modells, das über den gesamten Lebenszyklus erweitert werden kann.

Die Maßnahmen des Spezialtiefbaus zählen zu den kostenintensivsten auf einer Baustelle. Großes Gerät und spezialisierte Firmen sind für eine erfolgreiche Durchführung unerlässlich. Da der Baugrund immer einen großen Unsicherheitsfaktor bildet, müssen geeignete, unterstützende Anwendungen zum Einsatz kommen. Hierfür bildet *BIM* eine geeignete Plattform. Protokolle, Maschinendaten und Kontrolldaten können hier webbasiert analysiert und für alle zugänglich gemacht werden, um zum einen die Transparenz zu steigern und zum anderen den Überblick, selbst bei hochkomplexen Bauvorhaben zu behalten.

In dieser Arbeit soll ein Überblick über die aktuelle Forschungssituation im Bereich *Building Information Modeling* im Erdbau, speziell im Spezialtiefbau, gegeben werden. Die Ergebnisse die mit Hilfe vorhandener Publikationen und Forschungsarbeiten verschiedener Universitäten und namhafter Forschungsgruppen zusammengetragen wurden sollen eine Grundlage für die weitere Forschung in diesem Bereich bilden. Über die Aufgabenstellung hinaus wird zusätzlich mit dem Softwareprogramm *Revit 2014* ein Modell erstellt. Es wird versucht eine überschnittene Bohrpfahlwand zu modellieren und sie mit Parametern auszustatten. Zusammenfassend wird das Programm für den Einsatz bewertet.

Abstract

Any building activity has a unique character. Individual planning, procurement and construction processes are frequently big challenges. Due to the sometimes very rapidly changing boundary conditions, developed processes often need to be updated very quickly. Nowadays this is mostly based on the experiences of those involved in construction. Even with the best planning and preparation, uncertainties can stop the construction process. These may be more unsuitable foundations, various hindrances in the construction area, bad weather conditions, failure of equipment, changing objectives of the client and much more. This leads to construction extensions and thereby cost increases.

To be able to better cope with these problems better and to support this complex and error-prone process, an improved flow of information, accurate information about the ground and an exact sizing for the right machinery is needed.

For these reasons the use of *Building Information Modeling* is useful. BIM offers the possibility to improve the flow of information, to increase data accuracy and streamline operations. In addition, the application allows to link planning steps, to simplify calculations and to create an intelligent model which can be extended over the entire life cycle.

The measures of special heavy construction are among the most costly on a construction site. Large equipment and specialized companies are essential for a successful implementation. Since building always constitutes a major element of uncertainty, appropriate supporting applications must be used. For this purpose, BIM provides a suitable platform. Logs, machine data and control data can be analyzed web-based here and made available for all to increase the transparency on the one hand and to keep track even in highly complex construction projects on the other.

The thesis intends to give an overview of the current situation of research in the field of *Building Information Modeling* in earthworks, especially in special heavy construction. The results, which have been collected with the help of existing publications and research from various universities and renowned research groups, should form a basis for further study in this area. Going beyond the task, a model has been created with the software program *Revit 2014*. It is an attempt to model an overlapping bored pile wall and to equip it with parameters. To summarize, the program is evaluated for use.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung [Kratt]	1
1.1 Aktuelle Situation der Bauwirtschaft	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen [Kratt]	4
2.1 <i>Building Information Modeling</i>	4
2.1.1 Begriffsdefinition und Motivation für Nutzung	4
2.1.2 Anforderungen für den Einsatz	7
2.2 Erdbau	9
2.2.1 Begriffsdefinition	9
2.2.2 System Erdbaustelle	10
3 Spezialtiefbau	12
3.1 Allgemeines	12
3.1.1 Gefahren im Spezialtiefbau	13
3.1.2 Methoden	14
3.2 <i>Building Information Modeling</i> im Spezialtiefbau	17
3.3 Zusammenfassung	18
4 Recherche	19
4.1 Spezialtiefbau	20
4.1.1 Forschung im universitären Umfeld	21
4.1.2 Referenzprojekte von Firmen	24
4.2 Zusammenfassung und Bewertung	29
5 Beispielmodell	30
5.1 <i>Autodesk Revit 2014</i> [Kratt]	30
5.2 Modell	31
5.3 Analyse und Ergebnisse	34
6 Fazit	35
Quellenverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	IX

Tabellenverzeichnis.....	X
Anhang.....	1

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
4D	vierdimensional
5D	fünfdimensional
BIM	Building Information Modeling
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CAD	Computer-Aided Design
CAFM	Computer-Aided Facility Management
DIN	Deutsche Industrie Norm
ERP	Enterprise Resource Planning
GPS	Global Positioning System
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC	Industry Foundation Classes
IMS	Information Management System
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
VOB C	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil C
XML	Extensible Markup Language

1 Einleitung [Kratt]

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer Bachelorarbeit im Fachgebiet Baubetriebswesen an der Professur Baubetrieb und Bauverfahren der Bauhaus-Universität Weimar. Parallel zu dieser Arbeit wurde durch Frau Kratt eine weitere Aufgabenstellung zum Thema „*Building Information Modeling* im Erdbau – Eine Potentialanalyse im Tiefbau“ bearbeitet. Einige Abschnitte wurden gemeinsam erarbeitet und übernommen. Die von Frau Kratt übernommenen Beiträge sind nachfolgend mit [Kratt] gekennzeichnet.

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über die aktuelle Situation der Bauwirtschaft und erläutert sowohl die Zielsetzung als auch die Abgrenzung dieser Arbeit. Abschließend wird der Aufbau der Arbeit beschrieben.

1.1 Aktuelle Situation der Bauwirtschaft

Die Baubranche ist einer der wichtigsten Wirtschaftszweige in Deutschland. 2014 wurden 10,1 Prozent des deutschen Bruttoinlandproduktes für Baumaßnahmen verwendet. Gleichzeitig stellt das Baugewerbe mit rund 2,5 Millionen Erwerbstätigen einen der größten Arbeitgeber in Deutschland dar.¹

Dennoch steht die deutsche Bauwirtschaft aktuell unter hohem Wettbewerbsdruck gegenüber EU-Konkurrenten, die beispielsweise ein deutlich niedrigeres Lohnniveau haben. Hinzu kommt, dass öffentliche Aufträge in Deutschland nur diejenige Baufirma erhält, die das wirtschaftlichste Angebot abgibt. Dies verschärft den Kostendruck. So ist die Branche gezwungen sich in anderen Bereichen weiterzuentwickeln, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Es bleibt keine andere Möglichkeit als einen neuen Weg zum wirtschaftlichen Bauen zu beschreiten. Zudem geht der Trend zu immer kleinteiligeren Projekt- und Unternehmensstrukturen, welche die Umsetzung von innovativen Maßnahmen erschweren. Im Jahr 2013 arbeiteten 91,8 Prozent² der im Baugewerbe tätigen Personen in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)³. Außerdem steigt die Arbeitsteiligkeit der am Bau Beteiligten. Die

¹ Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2015), <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/bedeutung-der-bauwirtschaft/>, abgerufen am 23.03.2016.

² Vgl. Statistisches Bundesamt (2016), <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/UnternehmenHandwerk/KleineMittlereUnternehmenMittelstand/Tabellen/Baugewerbe.html>, abgerufen am 23.03.2016.

³ KMU – kleine und mittlere Unternehmen, weniger als 250 Mitarbeiter beschäftigen und einen Jahresumsatz von höchstens 50 Millionen Euro oder eine Jahresbilanzsumme von höchstens 43 Millionen Euro aufweisen.

Vergabe erfolgt immer seltener an einen Generalunternehmer der alle Aufgaben eines Bauvorhabens übernimmt.

Bei den meisten Bauvorhaben herrscht großes Optimierungspotential. Hierzu zählt die Verbesserung der Abläufe und die Optimierung der Zusammenarbeit zwischen den am Bau Beteiligten. Die Kombination aus modernen Kommunikationstechnologien aus der stationären Industrie und die Anwendung von Lean-Management-Prinzipien versprechen eine ergebnisreiche Unterstützung zur Verbesserung von Bauvorhaben.⁴ Ein großes Hindernis stellt der Unikatcharakter von Baustellen dar, der so die Anforderungen an neue Methoden erhöht.

Ein geeignetes Werkzeug stellt *Building Information Modeling* dar. Im Hochbau findet die ereignisorientierte Modellierung schon seit einigen Jahren Anwendung.⁵ Vorreiter auf diesem Gebiet in Europa ist Großbritannien. Hier ist BIM bei der Vergabe von öffentlichen Bauprojekten bereits Pflicht und sehr erfolgreich. So konnten im Jahr 2012 umgerechnet zwei Milliarden Euro eingespart und eine 33 prozentige Steigerung der fristgerechten Abgabe von Aufträgen erzielt werden.⁶

Im Erdbau dagegen wird diese praktische Anwendung noch sehr wenig genutzt. In Deutschland beschäftigen sich Lehrstühle an Universitäten, Forschungsgruppen und Firmen mit der Anwendbarkeit von *Building Information Modeling*.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, das Potential das *Building Information Modeling* bietet, speziell im Spezialtiefbau herauszuarbeiten. Eine klare Abgrenzung des Begriffs Spezialtiefbau erfolgt in Kapitel drei.

Die Definition der Begrifflichkeiten Erdbau und *Building Information Modeling* bilden die Grundlage für die Recherche. Es werden Forschungsarbeiten, sowie Forschungsprojekte verschiedener Universitäten vorgestellt, Forschungsverbände genannt und deren Aufgaben erläutert. Zur Unterstützung wird eine Übersicht in Form einer Grafik, erstellt.

Abschließend wird ein Modell mit Hilfe von *Revit 2014* erstellt, um aufzuzeigen, dass auch ein großes Potential im Spezialtiefbau mit Hilfe ereignisorientierter Modellierung ausgeschöpft werden kann. Natürlich kann dies im Rahmen einer Bachelorarbeit nicht in sehr umfangreichen

⁴ Kirchbach (2014), S. 4.

⁵ Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (2010), S. 3.

⁶ ARCHmatic (2014), <http://www.baulinks.de/bausoftware/2014/0024.php4>, abgerufen am 23.03.2016.

Maße erfolgen, aber die Erfahrungen können dennoch eine Grundlage für weitere Forschungen bilden.

Die vorliegende Arbeit besteht aus sechs Kapiteln. Das erste Kapitel dient als Einleitung und gibt einen Überblick über die Zielsetzung und die der Arbeit zugrundeliegende Idee.

Kapitel zwei verschafft ein Überblick über die Grundlagen von *Building Information Modeling* und dem Erdbau. Im ersten Abschnitt werden ein Anforderungsprofil erarbeitet und Probleme und Erwartungen beim Einsatz von BIM erörtert. Der anschließende zweite Abschnitt verweist auf die zentralen Themengebiete des Erdbaus und des Systems Erdbaustelle. Darüber hinaus wird sich mit den allgemeinen Problemen auf Erdbaustellen beschäftigt.

Kapitel drei befasst sich im Besonderen mit dem Spezialtiefbau. Hierzu wird auf die Methoden und die Gefahren des Spezialtiefbaus eingegangen und abschließend ein Zusammenhang zu *Building Information Modeling* hergestellt.

Kapitel vier beinhaltet eine Recherche zur aktuellen Forschungssituation. Es werden bestehende Publikationen, Forschungsarbeiten verschiedener Universitäten und Hochschulen, laufende Projekte und bestehende Forschungsverbände wie beispielsweise *FAUST*, zusammengefasst und ein Überblick geschaffen. Mit Hilfe einer Grafik soll dies veranschaulicht werden.

In Kapitel fünf wird erläutert, wie ein zum Thema passendes Modell mit der Software *Revit 2014* erstellt wurde. Hierfür mussten neue *Familien* erstellt werden um eine sinnvolle Darstellung zu gewährleisten. Abschließend erfolgt eine Bewertung des entstandenen Modells sowie der verwendeten Software.

Die Arbeit schließt mit einem Fazit in Kapitel sechs ab.

2 Grundlagen [Kratt]

In den folgenden Kapiteln werden Grundlagen zu *Building Information Modeling* und zum Erdbau geschaffen. Es wird erläutert, wie mit BIM das Optimierungspotential auf Baustellen ausgeschöpft werden kann und welche Anforderungen für den Einsatz gegeben sein müssen. Des Weiteren wird der Erdbau abgegrenzt und untergliedert.

2.1 *Building Information Modeling*

„Annähernd alle derzeitigen Bauvorhaben in Deutschland werden nach herkömmlichen, traditionellen Planungsmethoden durchgeführt“⁷. Im Vergleich zur stationären Industrie erfährt das Baugewerbe eine sehr geringe Steigerung der Arbeitsproduktivität. Die industrielle Produktion nutzte das Potential, das durch die erste digitale Revolution entstand. Während das Baugewerbe auch heute immer noch mit Kostenüberschreitungen, Terminverzug, unzureichender Kommunikation zwischen den am Projekt Beteiligten und Qualitätsproblemen zu kämpfen hat. *Building Information Modeling* bietet die Möglichkeit die Produktivität in der Bauwirtschaft zu steigern und die genannten Probleme zu reduzieren.⁸

2.1.1 Begriffsdefinition und Motivation für Nutzung

Aufgrund des fortschreitenden Wettbewerbsdruck und des strukturellen Wandels in der Baubranche, werden heute erhöhte Anforderungen an die Planungs- und Koordinationsleistungen aller der am Bau beteiligten Akteure gestellt.

BIM steht für *Building Information Modeling* und ist eine Planungsmethode im Bauwesen. Es handelt sich hierbei um eine Methode zur Abbildung von Bauprojekten mit Hilfe von 3D-Modellen, verknüpften Informationen und Kennwerten. Das Ziel ist es, möglichst alle projektrelevanten Daten und Informationen zu verwalten. Dazu gehören Verweise auf Ressourcen, Prozesse, schriftliche Dokumentationen und weitere Informationen. Den Kern bildet das digitale 3D-Gebäudemodell. Darüber hinaus lassen sich weitere Faktoren wie der Terminplan sowie zugehörige Kosten in das Modell einpflegen. So entsteht eine 5D-Datenmodell. Mit Hilfe der BIM-Methode werden sämtliche Planungsschritte miteinander verknüpft. Alle Projektbeteiligten, wie Architekten, Ingenieure und Bauherren, haben darauf Zugriff und erhalten jederzeit einen aktuellen Gesamtüberblick über das Projekt. Der Vorteil liegt darin, dass so, egal wann und wie oft der Entwurf im Planungsprozess geändert wird, konsistentere und durchgängige Informationen entstehen. So reduziert sich der Dokumentationsaufwand nach der Planungs- und Bauphase. Das Ergebnis soll eine integrierte

⁷ Albrecht (2014) S. 13.

⁸ Vgl. Albrecht (2014), S 13.

und partnerschaftliche Arbeitsweise sein, die über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes betrachtet wird. Es wird nicht nur die Planungs-, sondern auch die Ausführungs- und Betriebsphase betrachtet. Durch einen BIM-basierten Ansatz kann ein deutlicher Mehrwert erzielt werden. Um den Einstieg und die Arbeit mit BIM zu erleichtern, kann der Einsatz eines BIM-Managers zielführend sein. Seine Aufgaben können die Beschaffung von Hard- und Software, die Mitarbeiterschulung und die Entwicklung von Standards umfassen.⁹

In der Planungsphase ist das Ziel, ein Gebäudedatenmodell zu erstellen, auf das alle Projektbeteiligten Zugriff haben. Es entsteht eine optimierte Kommunikation und ein verbesserter Informationsfluss (siehe Abbildung 1).

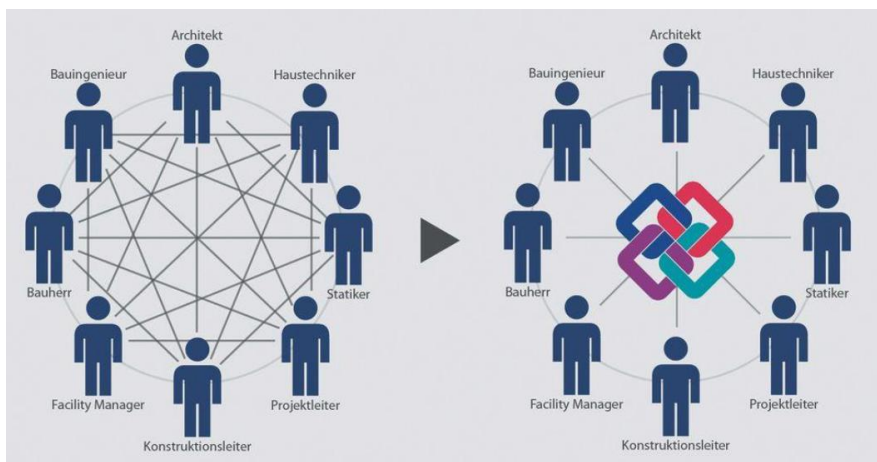


Abbildung 1: Klassischer Bauablauf (links), Bauablauf mit BIM (rechts)¹⁰

Dies bildet die Grundlage für bessere Entscheidungsprozesse. Die Visualisierung des Bauvorhabens ermöglicht eine Kollisionsprüfung hinsichtlich konstruktiver, gestalterischer, ökologischer und ökonomischer Aspekte. Sie muss aber gleichzeitig einfach und klar strukturiert dargestellt werden. Bauherr und Öffentlichkeit müssen die Möglichkeit haben, das Modell nachvollziehen zu können. Dieses soll eine Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen bieten.¹¹

Das Potential während der Ausführungsphase ist ebenfalls groß. Die Grundlage für den Fortschritt eines Bauvorhabens bildet der Soll-Ist-Vergleich. Durch den Einsatz von BIM kann der Ist-Zustand schnell und automatisiert erfasst und abgeglichen werden. Planungsänderungen sind dank dem Cloud-Prinzip ebenfalls einfach durchzuführen, da jeder sofort Zugriff auf den aktuellsten Plan hat. Die Termin- und Kostenrisiken lassen sich durch genauere Planung minimieren. Beispielsweise können Nachträge durch zuverlässigere

⁹ Schoof (2014), <http://www.detail.de/artikel/bim-in-der-architektur-verweigern-oder-durchstarten-12977/>, abgerufen am 23.03.2016.

¹⁰ Nemetschek Group (2016), <http://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/>, abgerufen am 28.03.2016.

¹¹ Both et al. (2012), S. 26.

Mengenermittlungen reduziert werden und dem Bauherrn eine transparente Kostenkontrolle ermöglichen.

In der Regel endet hier die Überwachung und Kontrolle. *Building Information Modeling* hat jedoch den Anspruch, den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes zu betrachten. Die Methode bietet die Möglichkeit, den Betreibern zeitnah die notwendigen Daten für die Bewirtschaftung zur Verfügung zu stellen. Außerdem kann eine fortlaufende Dokumentation während der Betriebsphase erfolgen und es besteht die Möglichkeit die Daten in ein *CAFM*-System zu integrieren.¹²

Die Einführung von *Building Information Modeling* ist jedoch mit einigen Schwierigkeiten verbunden und lässt Fragen offen.

Unternehmen müssen die Entscheidung treffen, ob sie die gesamten Mitarbeiter umschulen oder zu Testzwecken nur vereinzelt Mitarbeiter fortbilden. Auch der Umgang mit älteren Mitarbeitern bezüglich einer Einarbeitung kann sich als Schwierigkeit herausstellen. Die Frage der Finanzierung kann zum Beispiel kleine Unternehmen unter Druck setzen und sie so einem unfairen Wettbewerb aussetzen. Für Architekten und Planer stellt sich die Frage, wie ihre zusätzlich erbrachte Leistung vergütet wird. Bisher werden Arbeiten mit *Building Information Modeling* unter *Besondere Leistungen* in der HOAI geführt und abgerechnet.¹³ Ungeklärt ist noch, wer für die Richtigkeit des Modells verantwortlich ist, wer für die fehlerhafte Ausführung haftet und wie die rechtliche Lage im Schadensfall aussieht. Hierfür müssen bestehende Gesetze angepasst und neue erarbeitet werden.

Eine weitere Schwierigkeit stellt die Software selbst dar. Es gibt inzwischen weit mehr als 80 unterschiedliche Planungssoftwares, wie eine Umfrage der Initiative *ZukunftBAU* ergab.¹⁴ Dies führt zwangsläufig zu der Frage, wie Datenpakete unterschiedlicher Hersteller ausgetauscht werden können. Einen Ansatz liefert hier der IFC-Standard, entwickelt von *buildingSMART*.¹⁵ Er gilt als „PDF der BIM-Welt“¹⁶. Doch selbst innerhalb einer Software herrscht eine begrenzte Auf- und Abwärtskompatibilität. Dies kann problematisch werden, wenn beispielsweise Gebäudemodelle in ein Facility Managementsystem übernommen werden und diese Daten nach 15 Jahren nicht mehr lesbar sind.¹⁷

All diese Fragen bilden mit Sicherheit einen Hemmfaktor für viele Unternehmen. Um Bewegung in den schwerfälligen Markt zu bekommen hat das Bundesministerium für Verkehr

¹² Vgl. Albrecht (2014), S. 23 – 25.

¹³ Vgl. Brückner, Sebastian in Schoof (2014) S. 4.

¹⁴ Both et al. (2012) S. 68.

¹⁵ buildingSMART e.V. (2015), <http://www.buildingsmart.de/buildingsmart-ev>, abgerufen am 28.03.2016.

¹⁶ Vgl. Schoof (2014).

¹⁷ Vgl. Schoof (2014).

und digitale Infrastruktur einen Stufenplan¹⁸ mit Zielen zur Einführung von *Building Information Modellig* entwickelt. Er sieht vor, dass ab 2017 alle öffentlichen Vergaben BIM-basiert sein sollen. Viele Unternehmen versuchen heute schon in Eigeninitiative eine Arbeitsproduktivitätssteigerung ihres Unternehmens durch den Einsatz dieser Methode zu erzielen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass *Building Information Modeling* die Ausschöpfung noch nicht genutzter Potentiale ermöglicht, jedoch noch durch eine Reihe von Unsicherheiten geprägt ist, die es in den nächsten Jahren abzubauen gilt.

2.1.2 Anforderungen für den Einsatz

Es muss ein Hilfsmittel geschaffen werden, den Prozess vor dem Bauvorhaben zu planen, während der Bauphase zu kontrollieren und nach der Fertigstellung die Baustellenvorgänge auszuwerten. Hierfür wurden Anforderungen, die für den Einsatz einer Simulation erfüllt werden müssen, entwickelt und klassifiziert. Sie lassen sich in drei Gruppen aufteilen. In nutzerspezifische, funktionale und organisatorische Anforderungen, wie in Tabelle 1 zu sehen ist.

nutzerspezifisch	funktional	organisatorisch
einfache Bedienbarkeit	Software	geringer Aufwand für Erstellung und
erforderliches Interesse	detaillierte Modellierung	Änderungen
anschauliche Visualisierung	Szenarien	kurze Dauer für Szenarien-
ergebnisreiche Auswertung	Flexibilität	simulation
	Integration des Ist-Zustandes	

Tabelle 1: Klassifikation der Anforderungen¹⁹

Mit Hilfe von *Building Information Modeling* sollen Entscheidungsprozesse schneller und besser ablaufen. Die wichtigste Voraussetzung ist das erforderliche Interesse. Wenn sich ein Unternehmen für eine BIM-Anwendung entscheidet, sollte sich das ganze Unternehmen auf diese Umstellung einlassen. Zudem spielt die einfache Bedienung eine wichtige Rolle. Es muss in kurzer Zeit möglich sein, die wichtigsten Bedienelemente zu finden, zu verstehen und auch richtig einzusetzen. Werden durch eine Simulation ergebnisreiche Daten gewonnen, müssen diese in einer anschaulichen Visualisierung aufbereitet, dargestellt und auch ausgewertet werden können.²⁰

¹⁸ Siehe Bachelorarbeit Frau Kratt.

¹⁹ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Wimmer (2014), S. 31.

²⁰ Vgl. Wimmer (2014), S. 31 – 33.

Die Grundlage für die funktionalen Anforderungen bildet die Auswahl der geeigneten Software. Speziell für den Erdbau muss ein Programm gewählt werden, das den Anforderungen einer Erdbaustelle gerecht wird. Die Prozesse einer Erdbaustelle müssen detailliert dargestellt werden können, um Rückschlüsse auf die Dynamik und das Zusammenspiel der Maschinen und deren Leistungen ziehen zu können. Um eine Simulation durchführen zu können, muss die Möglichkeit gegeben sein, verschiedene Szenarien überprüfen und miteinander vergleichen zu können. Eine gewisse Flexibilität der Anwendung ist Voraussetzung: Es muss die Möglichkeit bestehen, den Ablauf und den Aufbau der Baustelle ändern zu können, um das Modell auf unterschiedliche Baustellen übertragbar zu machen. Der Ist-Zustand einer Baustelle muss aufgenommen werden können. Einflüsse, die auf eine Erdbaustelle einwirken, müssen visualisierbar sein, um gegebenenfalls Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

Die organisatorischen Anforderungen an einen Planungsprozess lassen sich in zwei Teile aufteilen. Zum einen die Grobplanung für die Angebotserstellung, zum anderen die Feinplanung zur Ausführung. Es darf also keinen großen Aufwand benötigen, ein Modell in der Angebotserstellung zu entwickeln. Das Modell muss jedoch einfach erweiterbar sein, um es in der Feinplanung weiter verwenden und außerdem Parameter, wie zum Beispiel die Wahl des Herstellers, ändern zu können.²¹

Building Information Modeling bietet die Möglichkeit, die Datengenauigkeit zu erhöhen, den Informationsfluss zu verbessern und Abläufe zu optimieren. Außerdem ermöglicht die Anwendung Planungsschritte miteinander zu verknüpfen, Kalkulationen zu vereinfachen und das Erstellen eines intelligenten Gebäudemodells, das über den gesamten Lebenszyklus erweitert werden kann. Um das volle Potential ausschöpfen zu können sind noch einige Schritte notwendig: aktuelle Gesetze müssen angepasst werden, Unternehmen muss ein Eingewöhnungszeitraum gewährt und die Vergütung geklärt werden.

²¹ Vgl. Wimmer (2014), S. 32 – 33.

2.2 Erdbau

Der Erdbau beinhaltet alle Baumaßnahmen, bei denen Boden in seiner Lage, in seiner Form und in seiner Lagerungsdichte verändert wird.²² Nach DIN 18300 (VOB C) umfassen Erdarbeiten das Lösen, Laden, Bewegen, Einbauen und Verdichten.²³

2.2.1 Begriffsdefinition

Der Erdbau bildet die Grundlage für die meisten Baumaßnahmen. Das beginnt mit der Beräumung des Baufeldes, geht über den Aushub der Baugrube und dem anschließenden Anfüllen. Erst danach kann mit dem Bau von Hoch- oder Tiefbauwerken begonnen werden. Kein Neubau von Einfamilienhäusern, Straßen oder Dämmen lässt sich ohne Vorbereiten und Bearbeiten des Baufeldes verwirklichen.

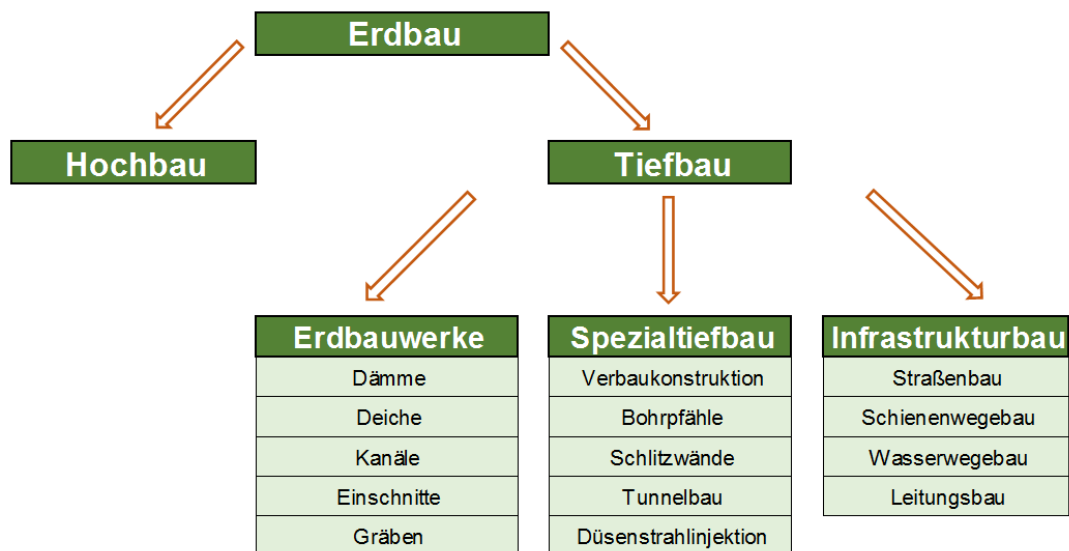


Abbildung 2: Schematische Darstellung Erdbau²⁴

Der Bereich Hochbau ist nicht Teil dieser Arbeit und findet daher keine weitere Berücksichtigung. Wie in Abbildung 2 erkennbar ist, lässt sich der Tiefbau in drei Untergruppen unterteilen: die Erdbauwerke, den Spezialtiefbau und den Infrastrukturbau. Eine klare Abgrenzung fällt jedoch schwer, da zum Beispiel Erdbauwerke die Grundlage für den Infrastrukturbau bilden oder Verfahren des Spezialtiefbaus in der Sicherung von Erdbauwerken eine Rolle spielen und einen unterstützenden Charakter für den Infrastrukturbau darstellen.

²² Bauer (2007), S. 61.

²³ DIN 18300.

²⁴ Eigene Darstellung.

Die Erdbauwerke und der Infrastrukturbau finden im Folgenden keine weitere Erklärung, sondern werden in der parallel verfassten Arbeit näher betrachtet.

Erdarbeiten sind sehr maschinenintensiv und bilden dadurch einen großen Kostenfaktor. Es gilt also die Prozesse so zu gestalten, dass ein möglichst geringer Maschineneinsatz notwendig wird und die Geräte und Maschinen effizient eingesetzt werden.²⁵

Der durch die Erdarbeiten angefallene Erdstoff kann zugleich Baustoff, Fahrbahn, temporäres und/oder dauerhaftes Bauwerk sein. Der natürliche Baustoff hat eine ganz bestimmte Beschaffenheit und bildet durch Lösen, Bewegen und wieder Einbauen nach und nach das Erdbauwerk. Er lässt sich durch seine häufige Inhomogenität und seine sich, bedingt durch Klimaeinflüsse, ständig ändernden Eigenschaften, nur schwer abschließend beschreiben. Trotz bekannter physikalischer Kenngrößen, bodenmechanischer Kennziffern und erdbautechnischer Kennwerte ist es schwierig ihn in exakten Zahlen festzulegen. Dies stellt zusätzlich ein Problem bei der Kalkulation dar. Folglich ist der Erdbau durch große Unsicherheiten, in Bezug auf Planung und Vorbereitung, gekennzeichnet.²⁶

2.2.2 System Erdbaustelle

Nach Hermann Bauer hat sich die Aufteilung der Erdbaustelle in mehrere Prozesse bewährt. Sie besteht in der Regel aus mehreren Abtrags- und Auftragsstellen, also die Herstellung von Einschnitten, Baugruben, Gräben und Dammschüttungen.²⁷

Bedingt durch die vielfältigen Einflüsse und die sich ständig ändernden Randbedingungen ergeben sich zwangsläufig ständig neue Anpassungen des Ablaufs. Die Einflüsse, die auf den Erdbauprozess einwirken können, lassen sich in interne und externe Effekte aufteilen, wie in Tabelle 2 erkennbar ist.

interne Einflüsse	externe Einflüsse
Arbeitskettendimensionierung	Klima und Witterung
Baustelleneinrichtung	Transportentfernungen
Fertigkeiten des Personals	Baugrund
Gerät (Art, Leistung, Größe, Antrieb)	Naturschutz
Wartung und Instandhaltung der Maschinen	Grundwasser

Tabelle 2: Interne und externe Einflüsse auf Erdbaustellen²⁸

²⁵ Günthner und Borrmann (2011), S. 193.

²⁶ Steinmetzger und Bargstädt (2010), S. 21.

²⁷ Vgl. Bauer (2007), S. 61.

²⁸ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Ferger (2014), S. 15.

Zu den externen Effekten zählen beispielsweise das Klima und die Witterung. Schon geringe Niederschlagsmengen können den Boden in seiner Beschaffenheit völlig verändern und den Betrieb auf der Baustelle verlangsamen oder sogar zum Stillstand bringen. Eine wichtige Rolle spielt außerdem die ausführliche Baugrunderkundung. Es soll festgestellt werden, welcher Boden in welcher Menge vorhanden ist. Wird festgestellt, dass der Boden ausgetauscht werden muss, oder es wurden archäologische Funde gemacht, kann dies zu erheblichen Verzögerungen im Bauablauf führen. Des Weiteren ist die Transportentfernung zu berücksichtigen. Diese muss im Voraus genau bestimmt werden, um den Transport von Erdstoffen zu takten.²⁹

Den internen Effekten können zum Beispiel die Dimensionierung von Arbeitsketten und die Fertigkeiten des Personals zugerechnet werden. Wird die Beschaffenheit des Bodens falsch beurteilt, hat dies Auswirkungen auf die Wahl der richtigen Maschinen. Ein einmal aufgestelltes Gerät lässt sich meistens nur durch einen hohen Aufwand, verbunden mit Mehrkosten, umsetzen. Durch eine richtige Dimensionierung von Arbeitsketten lassen sich Stillstands- und Wartezeiten verhindern. Durch die stetige Modernisierung der Baustellengeräte steigen die Anforderungen an das Bedienpersonal ständig. Hierzu zählen nicht nur die Maschinenführer, sondern auch das Werkstattpersonal. Genügte früher die Ausbildung zum Mechaniker, sind die Anforderungen heute umfangreicher. Es werden Mechatroniker ausgebildet, die Kenntnisse der Elektrotechnik sowie Informatik mit dem reinen Mechanikerwissen kombinieren, um die modernen Maschinen warten zu können.³⁰ Auch gehört die Steuerung von Prozessabläufen zu den internen Effekten. Aufgrund fehlender Daten kann dies zu einer mangelhaften Leistung, beziehungsweise zeitlichen Verzögerungen führen. Wegen unvollständigen oder fehlenden Informationen mangelt es an verlässlichen Entscheidungsgrundlagen. Dies führt zu ineffizient und unproduktiv arbeitenden Maschinen. Tritt ein Störfall auf, hat dieser eine immense Auswirkung auf den gesamten Ablauf, da der Erdbau in der Regel nur vorbereitender Natur ist. Nachgeschaltete Arbeitsprozesse können dann nicht fristgerecht fertiggestellt werden.

Aufgrund der genannten Einflüsse kommt es häufig zu Störungen des Bauablaufs, die eine Bauzeitverzögerung und eine Kostensteigerung nach sich ziehen. Vorherrschende Randbedingungen, wie zum Beispiel die Witterungseinflüsse, Baumaschinenausfälle und unvorhergesehenen Bodenschichten, können sich also immer ändern³¹

²⁹ Vgl. Bauer (2007), S. 63.

³⁰ Vgl. Bauer (2007), S. 161.

³¹ Vgl. Kirchbach (2014), S. 18.

3 Spezialtiefbau

In dieser Arbeit wurde der Erdbau als Voraussetzung für den Hoch- und Tiefbau definiert. Der Spezialtiefbau bildet inzwischen eine eigene Bausparte und stellt damit eine Untergruppe des Tiefbaus dar.³² Er beinhaltet Verfahren und Methoden, die sowohl spezielles Fachwissen als auch spezielle Maschinen benötigen. Dadurch ist die Spezialisierung einzelner Unternehmen sinnvoll. Durch die stetig wachsende Begrenztheit an Grund und Boden, besonders im innerstädtischen Bereich, steigen besonders die Anforderungen an den Baugrubenverbau. Es gilt angrenzende Gebäude nicht zu beschädigen.³³

Im Folgenden werden dazu einige Verfahren und Methoden näher betrachtet. Eine klare Abgrenzung, welche Verfahrenstechniken dem Spezialtiefbau zugerechnet werden gibt es nicht. Für den Tunnelbau beispielsweise sind sehr spezielle Maschinen und Verfahren notwendig und damit ist er eigentlich dem Spezialtiefbau zuzurechnen. Buja sieht keine Abgrenzung, da er den Tunnelbau nicht durch seinen Durchmesser definiert.³⁴ In Eichlers Sammelwerk zum Spezialtiefbau wird er nicht einmal erwähnt.³⁵

Fast an allen Universitäten, die sich mit dem Thema Spezialtiefbau, im Besonderen mit dem Tunnelbau beschäftigen, taucht dieser unter dem Oberbegriff Spezialtiefbau auf. Zu nennen ist hier die Ruhr Universität Bochum und die Technische Universität Freiberg. In dieser Arbeit wird der Tunnelbau dem Spezialtiefbau zugerechnet. Er findet jedoch nur eine Erwähnung (Kapitel 4), da die Ruhr Universität Bochum sich bereits sehr intensiv mit dem Thema BIM im Spezialtiefbau bzw. Tunnelbau auseinander setzt.³⁶

3.1 Allgemeines

Der Spezialtiefbau zählt zu den maschinenintensivsten Bereichen des Bauwesens. Eine Optimierung der Abläufe und das Erkennen von Einsparungspotentialen sind somit sehr interessant.

Die Grundlage für jede Baumaßnahme bildet die Baugrunderkundung. Werden hier Fehler gemacht, indem der Boden falsch eingeschätzt wird, der Tragwerksplanung falsche Daten übermittelt oder eigentlich notwendige Grundwasserherabsetzung nicht erkannt werden, hat dies immense Auswirkungen auf den Ablauf und damit auf die Kosten der Baumaßnahme. Dennoch wird aus Kosten- oder Zeitgründen immer wieder auf eine genauere Untersuchung

³² Buja (2001), S. 23.

³³ Vgl. Eichler (2009), S. 1.

³⁴ Vgl. Buja (2001), S. 23.

³⁵ Vgl. Eichler (2009), S. 1.

³⁶ Ruhr Universität Bochum, <http://www.tlb.rub.de/>, abgerufen am 22.02.1016.

des Baugrunds verzichtet.³⁷ Um einen kurzen Überblick über mögliche Verfahren der Baugrunderkundung zu geben, werden im Folgenden einige genannt, diese aber nicht näher erläutert. Zur Untersuchung des Baugrunds stehen direkte Verfahren, wie Schürfgruben (bei Flachgründungen), Bohrverfahren, Entnahmeverfahren und indirekte Verfahren, wie Sondierungen (Ramm- und Drucksondierung) zur Verfügung. Wichtig ist auch die Beweissicherung an angrenzenden Gebäuden. Werden hier Dinge übersehen und erste Rammarbeiten ausgeführt, kann es zu einer Klage kommen.³⁸

3.1.1 Gefahren im Spezialtiefbau

Wie bereits erwähnt bildet eine aufschlussreiche Baugrunderkundung die Grundlage für das Gelingen eines Bauvorhabens. Gefährlich kann die Arbeit werden, wenn kontaminierte Böden anstehen. Dies können nicht nur Kriegshinterlassenschaften oder Altbebauung sein, sondern auch chemische Belastungen. Sind Probleme dieser Art bekannt, kann frühzeitig darauf reagiert werden. Stößt ein Bagger jedoch auf einen Sprengsatz steht die ganze Baustelle für lange Zeit still.

Eine große Gefahr im Baugrund stellt außerdem das Grundwasser dar. Sind Spundwände oder andere Dichtungsmaßnahmen beispielsweise nicht richtig bemessen, kann es zu einem hydraulischen Grundbruch oder Ähnlichem kommen. Dies lässt sich durch eine genauere Planung vermeiden. Wie schon erwähnt, können an benachbarten Gebäuden Schäden durch beispielsweise Rüttelverdichtung oder Bohrungsvibrationen entstehen. Hier gilt es genau zu ermitteln, welches Verfahren, ob Spundwand, Bohrpfahl oder Schlitzwand, zu wählen ist.

Doch nicht nur eine nicht fachgerechte Vorerkundung kann zu gravierenden Fehlern führen. Werden angewendete Verfahren nicht richtig dokumentiert und die Folgen von einer Grundwassersenkung in der Planung nicht berücksichtigt, hat dies einen großen Einfluss auf die Umwelt.

Es zeigt, dass eine umfassende Überwachung und Kontrolle unumgänglich ist.

³⁷ Vgl. Buja (2001), S. 25.

³⁸ Vgl. Schmidt (1996), S. 14.

3.1.2 Methoden

Der Spezialtiefbau hat viele verschiedene Arbeitsbereiche. In Tabelle 3 werden diese schematisch dargestellt. Um den Umfang dieser Arbeit nicht zu sprengen werden im Folgenden Bohrpfähle bzw. der Verbau mit überschnittenen Bohrpfählen und das Düsenstrahlverfahren näher betrachtet.

Tiefgründungen	Baugrubenverbau	Ankerteknik	Baugrundverbesserungen	Unterfangungen
Bohrpfähle	Trägerbohlwand	Verpreßanker	Verdichtung	Durch Injektionskörper
Verdrängspfähle	Stahlpundwand	Ankerpfähle	Gefrierverfahren	Konventionelle Unterfangung
Verpreßpfähle	Bohrpfahlwand	Boden- und Felsnägel	Hochdruckinjektionen	nach DIN 4123
Spezialpfähle	Schlitzwände		Abdichtungen	
Brunnengründungen				
Hochdruckinjektionspfähle				
Senkkasten- und Druckluftgründungen				

Tabelle 3: Arbeitsbereiche im Spezialtiefbau³⁹

Eine Bohrpfahlwand dient in erster Linie der Baugrubenabsicherung. Durch diese ist es auch im innerstädtischen Bereich möglich, tiefe Baugruben oder auch U-Bahnhöfe mit Bebauung ringsum zu realisieren. Es gibt sie freistehend, ausgesteift oder rückverankert. Bei anstehendem Grundwasser kann eine überschnittene Bohrpfahlwand als Abdichtung angewendet werden, während tangierte (berührend) oder aufgelöste (mit freiem oder gefülltem Zwischenraum) Bohrpfahlwände nicht geeignet sind (siehe Abbildung 3).

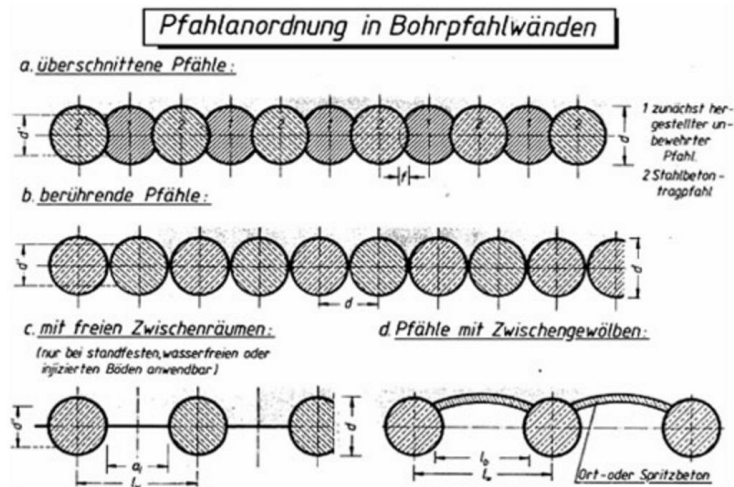


Abbildung 3: Grundrisse von Bohrpfahlwänden⁴⁰

Zur Herstellung von überschnittenen Bohrpfählen sind Bohrschablonen notwendig. Die Herstellung erfolgt durch das sogenannte Pilgerschnittverfahren.⁴¹ Zuerst wird jeder zweite Pfahl (1 – 3 – 5 – usw.), der unbewehrte Primärpfahl, gebohrt und mit Beton verfüllt. Bei diesen kommt es zum Einsatz von Verzögerern im Beton (zum Beispiel Flugasche als Füller). Danach werden die Bohrungen 2 – 4 – 6 – usw. abgeteuft und die bereits betonierten Pfähle

³⁹ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Buja (2001), S 23 – 24.

⁴⁰ Bauer (2007), S. 446.

⁴¹ Vgl. Eichler (2009), S. 70.

angeschnitten (diese sollten nicht älter als sechs bis zehn Stunden sein, um unnötigen Materialverschleiß zu vermeiden⁴²). Danach erfolgen das Einbringen des vorbereiteten Bewehrungskorbes und das anschließende Verfüllen mit Beton. Dies bildet den Sekundärpfehl. Um einen späteren Anschluss (bei geschlossener Wand) zu ermöglichen, ist der erste Pfehl als Sandpfehl auszuführen. Dasselbe gilt für den letzten Pfehl, wenn eine längere Pause (Wochenende, Behinderung des Bauablaufs etc.) ansteht. Zu berücksichtigen ist nicht nur ein ausreichendes Überschneidungsmaß der Bohrpfähle, sondern auch die ausreichende Einbindetiefe, unterhalb der Baugrubensohle.⁴³ Mit dem Einsatz von Verpressankern steigt die Tragfähigkeit dieser Konstruktion.



Abbildung 4: Mehrfachverankerte Bohrpfehlwand⁴⁴

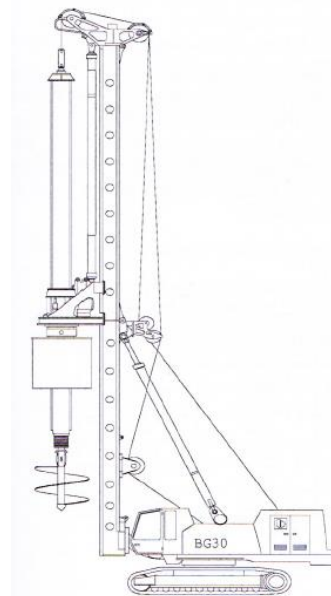


Abbildung 5: Systemskizze Drehbohrgerät⁴⁵

Abbildung 4 zeigt beispielhaft eine mehrfachverankerte Bohrpfehlwand zur Ausbildung einer innerstädtischen Baugrube und Abbildung 5 stellt eine Systemskizze eines verwendbaren Drehbohrgerätes dar.

Eine Methode der Baugrundverbesserung stellt das Düsenstrahlverfahren dar. Bei diesem Verfahren wird unter Hochdruck eine Wasser-Zement-Mischung in den Boden gepresst. Daraus entsteht ein quasi homogener Boden-Zementkörper. Da nur natürliche Baustoffe, die umweltfreundlich sind, in den Boden eingebracht werden, kann dieses Verfahren auch bei anstehendem Grundwasser verwendet werden. Dies stellt einen großen Vorteil gegenüber Chemikalinjektionen dar. Einige Bauunternehmen wie *Bauer Spezialtiefbau GmbH*, *Keller Grundbau* und *Bilfinger und Berger AG* haben eigene Düsenstrahlverfahren entwickelt. Das

⁴² Vgl. Buja (2001), S. 697.

⁴³ Vgl. Buja (2001), S. 696.

⁴⁴ BAUER Spezialtiefbau GmbH, S. 10.

⁴⁵ Eichler (2009) S. 72.

Soilcrete-Verfahren ist ein, von der *Firma Keller Grundbau GmbH*, eingesetztes und geschütztes Verfahren. Mit Hochdruck (etwa 200 bis 400 bar) wird eine Zementsuspension in den Baugrund eingepresst. Es besteht die Möglichkeit der Suspension, Luft und Wasser zuzuführen (siehe Abbildung 6).

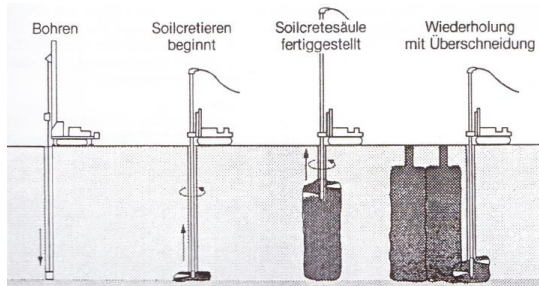


Abbildung 6: Arbeitsschritte beim *Soilcrete*-Verfahren⁴⁶

Das System der *Fa. Bauer Spezialtiefbau GmbH* ist das *Hochdruckinjektions*-Verfahren (HDI-Verfahren). Im Unterschied zum *Soilcrete*-Verfahren findet hier die Bohrung vornehmlich unter Ausspülung statt. Das Ventil im Bohrkopf wird sowohl zur Spülung als auch zur Injektion verwendet. Durch Aufschneiden des Bodens mit dem Injektionsstrahl (etwa 400 bis 600 bar) entsteht ein Freiraum, der mit einer Zementsuspension aufgefüllt wird. Der überschüssige Boden wird nach oben transportiert und kann deponiert werden. Es entsteht dadurch kein Überdruck und so lassen sich Hebungen vermeiden. Je nach anstehendem Boden und benötigter Reichweite wird das passende Verfahren gewählt.⁴⁷

Vorteile	Nachteile
In nahezu allen Bodenarten anwendbar	je bindiger der Boden desto
Fast beliebige Tiefe erreichbar begrenzt	höher Energie und Materialaufwand
nur durch erf. Bohrgenauigkeit	aggressives Grundwasser stellt
Rücklaufschlamm umweltfreundlich	ein Problem dar
	relativ teuer

Tabelle 4: Vor- und Nachteile des Düsenstrahlverfahrens⁴⁸

Düsenstrahlverfahren lassen sich vielfältig einsetzen. Sie können der Unterfangung von Bauwerken dienen, zur Tiefergründung bei Lasterhöhung, als Sohlabdichtung von Baugruben und zur Herstellung von vertikalen Dichtungswänden verwendet werden. Wie in Tabelle 4 zu sehen ist, haben diese Verfahren Vor- und Nachteile.

⁴⁶ Vgl. Buja (2001), S. 875.

⁴⁷ Vgl. Buja (2001), S. 875.

⁴⁸ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Buja 2001, S. 874 – 885.

3.2 *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau

Die Anforderungen an *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau sind, im Vergleich zum Hochbau, sehr unterschiedlich. Bei Hochbauprojekten ist oftmals eine detaillierte 3D-Darstellung notwendig. Beim Spezialtiefbau steht die Überwachung des Baufortschritts, die Erhebung und Auswertung von Daten, sowie eine Qualitätssicherung durch geeignete Konzepte im Vordergrund. Für eine gelungene Ablaufplanung jedoch kann die Kombination von einem 3D-Modell und einem Projektzeitplan eine große Hilfe darstellen. Mit Hilfe dieses 4D-Modells lassen sich kritische Punkte schneller erkennen.

Die Randbedingungen, wie zum Beispiel Probleme im Boden, die bei der Baugrunderkundung nicht entdeckt wurden, ändern sich ständig. So ist die laufende Kontrolle der Ist-Daten notwendig. Je komplexer die Randbedingungen, desto größer ist das Ausführungsrisiko. Die Anforderungen an den Einsatz von BIM sind also hoch. Vor Baubeginn gilt es Referenzmessungen durchzuführen, einen detaillierten Ablaufplan sowie die Ausarbeitung eines effektiven Plans zur Vermeidung beziehungsweise zur Reaktion auf eine drohende Havarie, auszuarbeiten.

Wie bereits erwähnt ist der Spezialtiefbau sehr maschinenintensiv. Viele Hersteller stellen Informationsdaten ihrer Maschinen zur Verfügung. Die meisten Maschinen erstellen Protokolle ihrer Arbeit. Diese erleichtern die Erhebung und Auswertung von Daten. Es werden Daten zu Bohrtiefe, Auflast und Drehzahl erhoben und zur Auswertung bereitgestellt. Durch die digitale Erfassung von Lieferscheinen ist eine exaktere Bestimmung des Soll-Ist-Vergleichs möglich und dieser kann als Grundlage dienen, Abläufe, falls notwendig, anzupassen.

Der Einsatz von BIM erlaubt es entnommene und ausgewertete Proben direkt zuzuordnen. Der Entnahmestelle einer Bohrung werden exakte Koordinaten zugewiesen. In Kombination mit den Spezifikationen und den erfassten Maschinendaten kann nicht nur der Prozess verfolgt, sondern auch die Ursachen von eventuellen Problemen früher ermittelt werden.

Besonders im innerstädtischen Bereich ist eine umfassende Überwachung notwendig. Eine webbasierte Plattform erlaubt die Verwaltung der anfallenden Daten. Erschütterungen durch Baumaschinen, den Lärmpegel und Liveübertragungen lassen sich einfach überwachen und dienen damit auch als Qualitätskontrolle in Echtzeit. Durch geeignete Monitoringkonzepte ist die Überwachung von Bestandgebäuden möglich und warnt bei drohender Gefahr.

Das Ziel von BIM ist es, den Gesamtprozess eines Projekts darzustellen und zu erfassen. Hierfür gilt es jedoch einheitliche Regelungen zu entwickeln. Es soll die menschliche Denkleistung nicht ersetzen, sondern unterstützend wirken. Es steht nicht die Visualisierung im Vordergrund, sondern die Erfassung und Verarbeitung von Mess- und Produktionsdaten.

Andere Länder sind Deutschland beim Einsatz von *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau weit voraus. Gerade in den USA, Großbritannien und Skandinavien sind schon viele Projekte erfolgreich abgeschlossen und die genutzte Software ständig verbessert und erweitert worden. In Kapitel vier wird darauf näher eingegangen und es werden einige Projekte vorgestellt.

3.3 Zusammenfassung

Durch den massiven Einsatz von schweren Maschinen, die für den Spezialtiefbau benötigt werden, sind die Kosten sehr hoch. Fehler müssen folglich zwingend vermieden werden. Voraussetzung hierfür ist eine sehr genaue Baugrunderkundung und eine akkurate Planung der Bauausführung. Wichtig ist außerdem die kontinuierliche Kontrolle durch Messungen, ob sich zum Beispiel angrenzende Gebäude gesetzt oder verschoben haben. Als Grundlage dient die Beweissicherung vor Baubeginn. Werden Probleme erst nach einer händischen Kontrolle ersichtlich, kann das erfolgreiche Einleiten von Maßnahmen erschwert werden. Werden diese jedoch automatisch regelmäßig erfasst, werden selbst kleinste Veränderungen im System sofort erkannt und ein Alarm ausgelöst. Dies ermöglicht das rasche Einleiten von notwendigen Gegenmaßnahmen. Auch Grundwassermonitoring kann so betrieben und die Daten auf einer Datenplattform überwacht werden.⁴⁹

Durch die Nutzung von *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau, wird es möglich Beobachtungen, Qualitätssicherung und Risikomanagement einfacher zu überwachen und zielführend zu vereinen.

⁴⁹ Vgl. Katzenbach 2016, S. 12.

4 Recherche

Derzeit ist BIM in aller Munde. Viele Vortragsreihen, Forschungsarbeiten und Forschungsgruppen befassen sich mit den Chancen und Risiken von BIM. Denn klar ist, dass noch längst nicht alle Fragen für eine flächendeckende Einführung für BIM geklärt sind. Wie wird die zusätzliche Arbeit, die das Erstellen eines komplexen 3D-Modells benötigt vergütet? Wer haftet im Streitfall und wie werden Hürden, wie der Datenpaketaustausch zwischen unterschiedlichen Softwareherstellern überwunden?⁵⁰

Hier sind Deutschland allerdings nicht nur die USA, sondern auch unsere europäischen Nachbarn einige Schritte voraus. Gerade „in den USA ist BIM de facto Standard“⁵¹ so André Borrmann bei einem Vortrag zu *Building Information Modeling* in München. Und auch Großbritannien strebt eine Vorreiterstellung an, wie Francis Maude verlauten ließ.⁵²

Es besteht also gerade für Deutschland ein großer Forschungsbedarf, um unter anderem die oben genannten Fragen zu beantworten und Lösungsansätze zu liefern.

Diese Arbeit versucht einen Überblick über vorhandene Arbeiten und Projekte zu geben und einige Fragen zu beantworten. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt bei BIM im Erdbau und im Besonderen bei der Nutzung von BIM im Spezialtiefbau. Im Folgenden werden also mehrere Arbeiten analysiert, Forschungsgruppen vorgestellt und Projektziele von Forschungsarbeiten herausgearbeitet. [Kratt]

⁵⁰ Vgl. Schoof (2014).

⁵¹ Schoof (2014).

⁵² Vgl. BIM Task Group (2013), <http://www.bimtaskgroup.org/>, abgerufen am 22.03.2016.

4.1 Spezialtiefbau

In diesem Kapitel wird auf die aktuelle Forschung zum Thema Spezialtiefbau eingegangen. Verschiedene Universitäten haben entweder alleine oder in Kooperation mit Firmen Forschung betrieben. Dazu wurde eine Grafik entworfen, die eine Übersicht schafft über die Akteure und wie diese zusammenarbeiten. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, sind einige Elemente hervorgehoben und andere „ausgeblendet“.

Die hervorgehobenen Elemente werden in dieser Arbeit erläutert und näher betrachtet. Die „ausgeblendeten“ Elemente gehören zum Erdbau und Infrastrukturbau, die in der parallel verfassten Arbeit erläutert werden. Die komplette Übersicht befindet sich im Anhang⁵³

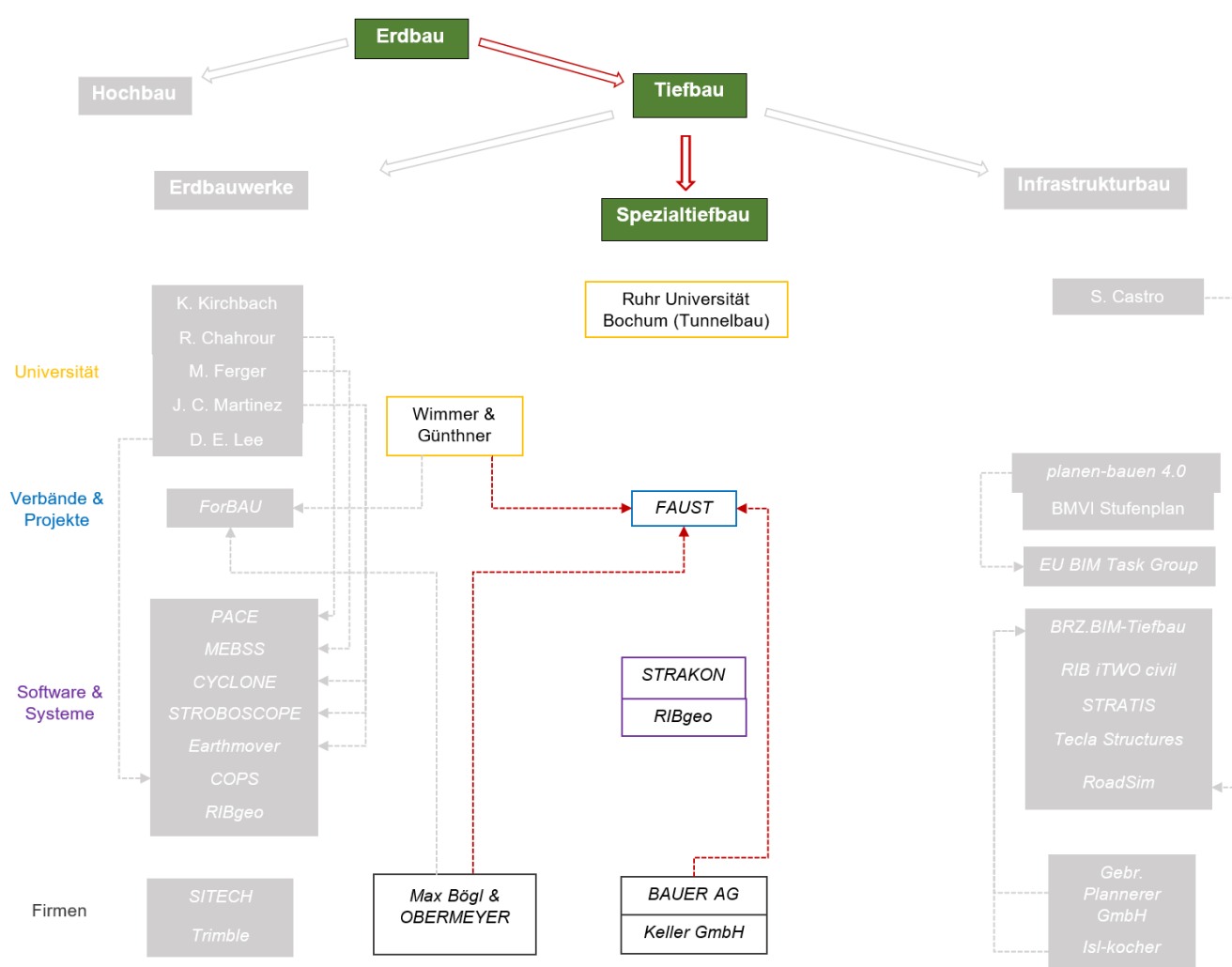


Abbildung 7: Übersicht der Akteure⁵⁴

⁵³ Siehe Anhang: A1 Übersicht der Akteure S. 1.

⁵⁴ Eigene Darstellung.

4.1.1 Forschung im universitären Umfeld

An der Ruhr Universität Bochum wird zu dem Thema Tunnelbau geforscht. Aus diesem Grund, wird der Tunnelbau in der Recherche nicht weiter berücksichtigt.

Mitglieder der Technischen Universität München und Spezialtiefbauunternehmen haben gemeinsam ein Projekt erarbeitet. Dies wird im Folgenden näher betrachtet und ist eines der wenigen Forschungsprojekte in Deutschland, die sich mit dem Einsatz von BIM im Spezialtiefbau beschäftigen. Im Folgenden wird das Projekt *FAUST* vorgestellt und Inhalte herausgearbeitet.

FAUST

Das Forschungsprojekt *FAUST*, Fertigungssynchrone Ablaufsimulation von Unikatbaustellen im Spezialtiefbau, wird durch die Bayrische Forschungstiftung gefördert. Das Team dieses Projektes ist von der Technischen Universität München. Dazu zählt der Leiter des Lehrstuhls für Computergestützte Modellierung und Simulation Professor Dr.-Ing. André Borrmann, der Leiter des Lehrstuhls für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Willibald A. Günthner und die wissenschaftlichen Mitarbeiter Maximilian Bügler, Amadeusz Kargul, Johannes Wimmer und Tim Horenburg. Unterstützung findet dieses Projekt außerdem auch noch aus der Industrie. Zu den Partnern gehören *Max Bögl Bauservice GmbH & Co.KG*, *BAUER AG*, *OBERMEYER Planen + Beraten GmbH* und die *Siemens AG*.

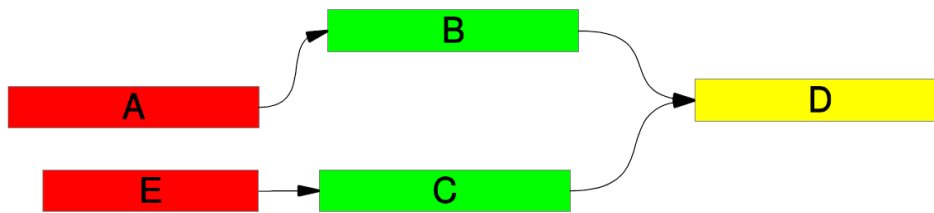
Häufig kommt es durch externe Einflüsse, wie beispielsweise das Wetter und unplanmäßige Änderungen durch den Bauherrn, zu unerwarteten Verzögerungen auf der Baustelle. Dies führt dazu, dass bereits erstellte Projektpläne ständig an die neuen Anforderungen angepasst werden müssen.

Mit Hilfe dieses Projektes soll eine baubegleitende simulationsgestützte „Ablaufplanung im Spezialtiefbau unter eingeschränkten Platzverhältnissen“⁵⁵ entwickelt werden. Durch innovative Technologien, wie der Schaffung eines mobilen Virtual Reality (VR)-Systems, soll die Planungsphase auf Basis von Ist-Daten realisiert werden.

Im Folgenden werden einige Methoden erläutert, die zur Erfassung von automatisierten Daten auf Baustellen verwendet werden, sowie die Weiterverarbeitung dieser.

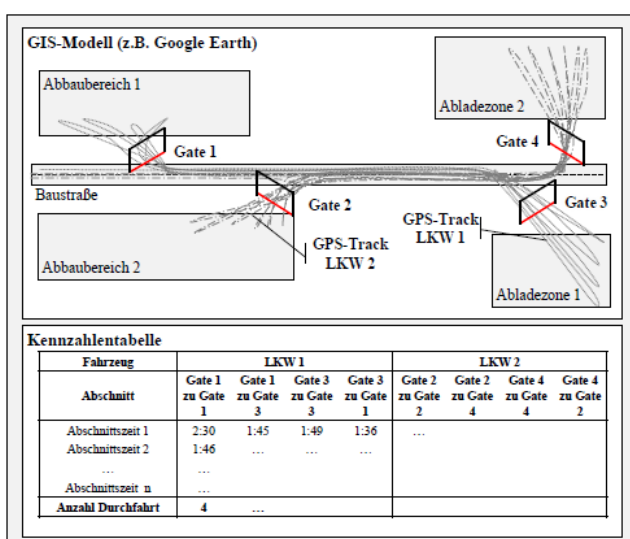
Die diskrete Ereignis-Simulation hat zur Aufgabe, Reihenfolgenbeziehungen von Prozessen in Abhängigkeit zueinander zu setzen (siehe hierzu Abbildung 8). Durch die Pfeile werden die Reihenfolgebeziehungen dargestellt. Außerdem wird sofort ersichtlich welcher Prozess von welchem abhängig ist.

⁵⁵ Vgl. Wimmer et al. (2013), S. 2.

Abbildung 8: Abhängigkeitsgraph⁵⁶

Diese Betrachtungsweise erlaubt es schnell und auf einen Blick Abläufe darzustellen und eventuelle Schwachstellen aufzudecken. Wird nun jedem Vorgang ein Prozess (verfügbare Maschine oder die benötigte Materialmenge) und diesem ebenfalls eine Priorität zugeordnet, kann die Simulation gestartet werden. Die Ergebnisse werden dann in einem Gantt Chart dargestellt. Um den erarbeiteten Ablaufplan zu optimieren, werden Listen mit Tauschoptionen erstellt. Diese werden in einem Suchbaum erfasst und die Bearbeiterin oder der Bearbeiter kann die Prioritäten neu festlegen. Da bei realen Projekten die Suchbäume zu umfangreich sind, werden heuristische Verfahren eingesetzt, um so die Suchtiefe zu begrenzen.

Um das Simulationsmodell immer auf dem neusten Stand zu halten, müssen dem Modell ständig aktuelle Ist-Daten zugeführt werden. Dies kann beispielsweise durch das Einlesen von elektronischen Bohrprotokollen, oder den Sensordaten von Baggerschaufeln geschehen. Daraus werden Fortschrittsdaten abgeleitet, die als Grundlage für die Simulation dienen. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit durch GPS-Module die Transportfahrzeuge zu „beobachten“. Aus diesen Beobachtungen lassen sich Rückschlüsse beispielsweise auf die Umlaufzeiten eines Transportfahrzeuges ziehen, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Dies lässt sich durch digitale „Gates“ an Baustellenausfahrten und Deponieeinfahrten umsetzen.

Abbildung 9: Konzept für GPS-Tracking von Transportfahrzeugen⁵⁷⁵⁶ Wimmer et al. (2013), S. 2.⁵⁷ Wimmer et al. (2013), S. 6.

Es gibt jedoch nicht nur die Möglichkeit mit Hilfe der GPS-Tracking-Methode die Aushubmasse einer Baugrube zu bestimmen. Eine andere Variante zur Bestimmung der Aushubmasse einer Baugrube stellt die 3D-Punktwolkenrekonstruktion dar. Hierfür werden Fotos aus allen möglichen Perspektiven von der Baugrube gemacht und trianguliert. Um aus der entstandenen Punktwolke eine Volumenberechnung machen zu können, muss diese in mehreren Schritten bereinigt und skaliert werden (siehe Abbildung 10 und 11). Das Volumen wird mit Hilfe des Brian Mitch Algorithmus⁵⁸ berechnet.

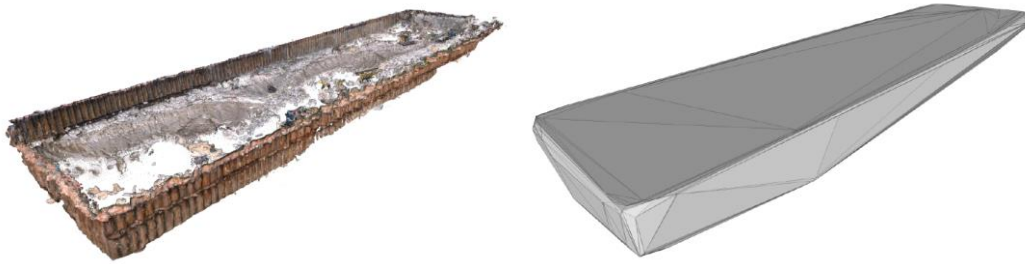


Abbildung 10 und 11: Links: fotogenerierte Punktwolke der Baugrube; rechts: konvexe Hülle der Punktwolke⁵⁹

Die entstandenen Daten können nun dem gesamt auszuhebenden Volumen gegenübergestellt werden und so ergibt sich ein prozentualer Fortschrittswert.

Die Forschungsbemühungen konzentrieren sich aber nicht nur auf die Verwendung der vor Ort gewonnenen Daten, sondern auch auf die Nutzung von Projektdaten aus Kalkulationsprogrammen, wie zum Beispiel ERP-Software. Hier ist es möglich, nicht nur Ausschreibung, Vergabe und Abrechnungsdaten zu integrieren, sondern auch CAD-Daten in die ERP-Software zu importieren. Hier stellt sich die Frage, ob die ERP-Software nicht nur als Quelle zur Bereitstellung von Ist-Daten geeignet ist, sondern sogar als Datenbasis der Simulation genutzt werden kann, um manuelle Eingaben im Vorfeld zu minimieren.

Alle benötigten Daten und Kennwerte werden in einer Datenbank gespeichert. Die dort eingepflegten Daten werden aufbereitet (siehe hierzu Beispiel der fotogenerierten Punktwolke), um aus ihnen Fortschrittsdaten zu ermitteln. Diese können mit gewissen Unschärfen verbunden sein und müssen also bei der Integration berücksichtigt werden.

Je unterschiedlicher die Datenquellen sind, desto genauer kann die Simulation werden. Hier entsteht allerdings ein Problem. Erhält das System unterschiedliche Informationen zu demselben Vorgang, zum Beispiel unterschiedliche Volumenermittlung des Erdaushubes durch zwei unterschiedliche Verfahren, muss das System wissen, welche Information priorisiert werden soll.

⁵⁸ Wimmer et al. (2013), S. 7.

⁵⁹ Wimmer et al. (2013), S. 8.

Um all die Informationen auch grafisch überblicken zu können, wird eine Web-Applikation entwickelt. Diese ist bidirektional mit der Simulation verbunden, um manuelle Änderungen vornehmen zu können und diese in die Simulationen zu übergeben. Hier spielt die Priorisierung wieder eine wichtige Rolle. Die von Hand eingepflegten Daten müssen höher priorisiert werden als die automatisiert erfassten. Dies erlaubt Korrekturen, birgt aber auch ein gewisses Fehlerrisiko.

Um die Funktionalität dieses Verfahren zu prüfen, wurden einige Abläufe durchgespielt. Zum Beispiel die frühzeitige Erkennung von Verzögerungen im Bauablauf und seine Folgen. Als Szenario wurde das Erstellen zweier Aushubabschnitte mit Spundwandabsicherung und deren Verankerung gewählt. Hier konnte gezeigt werden, dass durch eine einfache Änderung im Ablauf die Verzögerung, ausgelöst durch einen archäologischen Fund im Baufeld, minimiert werden konnte.⁶⁰

Das Forschungsprojekt *FAUST* setzt sich aus drei einfachen Bestandteilen zusammen: automatisierte Erfassung, Verarbeitung und Integration. Werden diese Daten genügend verdichtet, entsteht die Grundlage für eine Simulation, in der zeitliche Überschneidungen und Ist-Zustände ermittelt werden und letztendlich eine benutzerfreundliche Darstellung generiert wird. Diese Forschungsarbeit beschäftigt sich zwar mit Maßnahmen aus dem Spezialtiefbau, gibt aber eher Lösungsansätze für den reinen Erdbau. Zum Beispiel die Überwachung von LKWs für den Abtransport von Erdstoff oder die Volumenermittlung von Baugruben.

4.1.2 Referenzprojekte von Firmen

Einen sehr guten Einblick über die tatsächliche Nutzung von *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau können ausführende Firmen selbst geben. Besonders im angelsächsischen Raum gibt es inzwischen mehrere erfolgreich durchgeführte Projekte.

Im Zuge der Recherche stellte sich heraus, dass es nicht so einfach ist, Informationen zu Projekten im Spezialtiefbau mit BIM zu erhalten.⁶¹

Eine Ausnahme bilden hier Veröffentlichungen von Vorträgen, wie das Geotechnik Kolloquium an der Technischen Universität Darmstadt. Im Folgenden werden drei Projekte von Firmen vorgestellt.

⁶⁰ Vgl. Wimmer et al. (2013), S. 11 – 13.

⁶¹ Siehe dazu Recherchefahrplan im Anhang.

Inland

Für die Planung der „Ausführung einer komplexen innerstädtischen Baugrube“⁶² wurde die *GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH* beauftragt. Ausführende Firma war die *Implenia Spezialtiefbau GmbH*. Projekt war der Neubau von Büro- und Einzelhandelsflächen im Herzen Hamburgs.

Zur Herstellung einer 18 Meter tiefen Baugrube war eine akkurate Planung und umfangreiche Monitoringmaßnahmen notwendig, da sich die Baugrube in unmittelbarer Nähe denkmalgeschützter Gebäude befindet. Gewählt wurde eine offene Trogbauweise mit einer natürlichen Dichtsohle. Mit Hilfe einer 1 Meter breiten Schlitzwand die teilweise 60 – 65 Meter tief ist und in die Dichtschicht eingebunden ist, wurde die Baugrubenumschließung realisiert.

Im Voraus wurde eine Beweissicherung an den Bestandsgebäuden gemacht. Diese bildet die Grundlage der Monitoringmaßnahmen, die mit Hilfe der BIM-Methode realisiert wurde. Durch die Ermittlung der Lage und der Höhen können schnell Setzungen oder Horizontalverschiebungen durch das System erkannt werden und entsprechende Maßnahmen zur Gegenwehr eingeleitet werden. Auch der Grundwasserspiegel wird ständig überwacht um Schäden an Bestandsgebäuden zu vermeiden. Hierfür werden stündlich Messungen durchgeführt und weitergeleitet. Sobald definierte Grenzwerte überschritten werden, löst das einen Alarm aus.

Ohne die Nutzung von *Building Information Modeling* wären die anspruchsvollen Randbedingungen schwer zu beherrschen. Die Bündelung der anfallenden Daten werden visualisiert und auf einer Monitoringplattform einsehbar. Es ist also gewährleistet, dass alle Beteiligten jederzeit Zugriff auf die relevanten Prozessdaten haben.⁶³

Ausland

Dr. Karsten Beckhaus und Florian Bauer von *BAUER Spezialtiefbau GmbH* und Christian Hoyme von der Universität Leipzig gaben in ihrem Vortrag über die „Herausforderungen an das Management von Mess- und Produktionsdaten im Spezialtiefbau“⁶⁴ einen Überblick zum Thema *Building Information Modeling*.

Als Anschauungsbeispiel dient ein Großprojekt der *BAUER Foundation Corp.* in den USA. Hier musste ein bestehender Damm (Center-Hill Damm in Tennessee) weiter abgedichtet werden.

⁶² Vgl. Katzenbach (2016), S. 25

⁶³ Vgl. Katzenbach (2016), S. 25 - 34

⁶⁴ Vgl. Katzenbach (2016), S. 3 -12

Alle angefallenen Maschinendaten und die aus der Überwachung dienen der Kontrolle zur Erfüllung der Projektvorgaben und dem Nachweis der Standsicherheit des Dammes⁶⁵.

CAD-Daten und Kontrollmessungen werden webbasiert zur Verfügung gestellt. Diese bieten dann die Grundlage für die Auswertung sowie die Bewertung.



Abbildung 12 und 13: Center Hill Damm (links) und verwendete Schlitzwandbagger (rechts)⁶⁶

Das verwendete Informationsmanagementsystem (IMS) erlaubt die einfache und übersichtliche Darstellung und Ordnung der anfallenden Daten, welche über das Internet abrufbar sind. Die entstandene Datenbank enthält alle für das Projekt relevanten Daten: Bauteillisten, Ergebnisse aus Überwachung, Monitoringdaten und Bohrlochprofile. Diese Art der Verarbeitung von Daten erlaubt eine größtmögliche Transparenz für die Auftraggeber.

Aus den gesammelten Erfahrungen die am Center-Hill-Damm gemacht wurden, wurde das „B-Project“ entwickelt. Die eine einfache Dateneingabemaske soll die Eingabe und Verarbeitung von Daten noch weiter erleichtern. So ist ein schneller Soll-Ist-Vergleich möglich. Es besteht außerdem die Möglichkeit über mobile Geräte Zugriff auf die Datenbank zu bekommen oder Maschinendaten direkt auslesen und vor Ort schneller Entscheidungen treffen zu können. Der Vorteil dieser Möglichkeit konnte bei einem Einsatz in den USA gezeigt werden: Hier wurden die Fußpunkte der Primärpfähle (der bewehrten) durch die Abteufungstiefe der benachbarten Sekundärpfähle (unbewehrte) bestimmt. Die Produktionsdaten, die bei der Herstellung der Sekundärpfähle entstanden waren, konnten nun genutzt werden, um den exakten Mittelwert der Länge der beiden Sekundärpfähle zu bestimmen. Dadurch konnte erheblich Zeit eingespart werden.

⁶⁵ Vgl. BAUER Gruppe (2014), https://www.bauer.de/de/press/press_articles/2014/2014_03_center_hill_dam.html, abgerufen am 13.03.2016

⁶⁶ BAUER Gruppe (2014), https://www.bauer.de/de/press/press_articles/2014/2014_03_center_hill_dam.html, abgerufen am 26.03.2016

Um die Produktivität zu ermitteln, erfassen die Sensoren sekundlich alle relevanten Daten und leiten diese an die Plattform weiter.

Auch hier wird ersichtlich, dass eine Notwendigkeit der 3D Darstellung nur bedingt vorhanden ist. Viel nützlicher ist BIM zur Verwaltung, Organisation und Überwachung von Prozessen im Spezialtiefbau. Da die eingesetzten Maschinen ohnehin Daten elektronisch erfassen, können diese auch sinnvoll in einer Datenbank integriert werden und als zusätzliche Entscheidungsgrundlage dienen.

Einen weiteren Vortrag zum Thema BIM im Spezialtiefbauhielten hielten Dipl.-Ing. Univ. Paul Pandrea von der *Keller Holding GmbH*, Robert Essler vom *RD Geotech Ltd*, United Kingdoms und Paul Marsden von *Keller Geotechnique* in Coventry, United Kingdoms ab. Es ging um das Thema „Bestandssicherung unter komplexen Rahmenbedingungen“⁶⁷. Den Ausbau der Victoria Station in London.

Um dieses Bauvorhaben zu verwirklichen, mussten intensive Voruntersuchungen und Machbarkeitsstudien gemacht werden. Ziel war die Bildung eines Düsenstrahlgewölbes, um mit der geringen Überdeckung und dem anstehenden Grundwasser klar zu kommen. Innerhalb von zweieinhalb Jahren wurden etwa 2.200 Säulen im Düsenstrahlverfahren hergestellt und diese anschließend beim Tunneldurchtrieb durchstoßen.

Die Anforderungen an das BIM Modell waren durch die gegebenen Randbedingungen extrem hoch. Der Bestandsplan musste sehr detailliert ausgeprägt sein, in den dann der Bau-Soll integriert wurde. Um beispielsweise die Dichtigkeit zu gewährleisten, musste sehr genau gearbeitet werden. Über den gesamten Zeitraum der Herstellung wurde der Soll-Zustand ständig mit der hergestellten Geometrie abgeglichen. Das 3D-Modell beinhaltete zunächst nur die Soll-Geometrie welche immer mehr durch die Ist-Geometrie ergänzt wurde. Hier zeigte sich ein sehr hohes Maß an Genauigkeit, welches ohne den Einsatz von BIM nicht möglich gewesen wäre. Die Ist-Daten wurden aus geodätischen Einmessungen, Stichproben und der laufenden Überwachung gewonnen.

Auf Basis der erhaltenen Daten wurde dann das Risikomanagement für den Tunnelvortrieb aufgebaut. Während des Vortriebs konnte genau überprüft werden, ob die erstellten Prognosen der Realität entsprachen. Dem war so.

Eine Echtzeit-Auswertung der Messungen war jederzeit möglich, um eventuelle Überschreitungen des Lärmpegels oder Setzungen schnell zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

⁶⁷ Vgl. Katzenbach (2016), S. 25 - 34

Trotz der positiven Erfahrungen im Vortrag wurde *Building Information Modeling* auch kritisch betrachtet. Die Anwenderfreundlichkeit muss deutlich erhöht werden und eine flächendeckende Ausbildung der Ingenieure im Bereich BIM ist notwendig.

In diesem Projekt wurde BIM hauptsächlich zur Erstellung eines Risikomanagements genutzt. Es ermöglichte außerdem die sinnvolle, ingenieurmäßige Auswertung der Datenmengen. Die Einbindung von 3D Daten war sehr wichtig und trug zum Gelingen des Bauvorhabens bei.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau andere Aufgaben als im Hochbau hat. Auch wenn beiden der Unikatcharakter anhaftet, so spielt zum Beispiel die Darstellung in 3D Modellen eine unterschiedliche Rolle. Für den Spezialtiefbau steht vielmehr ein geordnetes Datenmanagementsystem im Vordergrund um alle anfallenden Daten zu sortieren und anschließend bewerten zu können im Vordergrund. Daraus kann zum Beispiel ein effektives Risikomanagement oder ein geeignetes Monitoringkonzept erarbeitet werden und erlaubt so einen reibungsvollen Bauablauf.

4.2 Zusammenfassung und Bewertung

Die Recherche zum Thema *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau gestaltete sich schwerer als gedacht. Die verfügbare Literatur gibt einen guten Überblick über die Grundlagen von BIM und den Methoden, die im Spezialtiefbau angewendet werden. Aber eine Verknüpfung der beiden Themen war in der Literatur nicht zu finden.

Grund hierfür ist höchstwahrscheinlich die Aktualität des Themas BIM. Während andere Länder schon deutlich weiter in der Einführung sind, befindet sich Deutschland noch im Anfangsstadium. Literatur gibt es zum Thema Hochbau oder auch Infrastruktur, diese waren jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Der nächste Ansatz war eine umfassende Internetrecherche. Hier war deutlich mehr zu finden. Das Forschungsprojekt *FAUST* ist eine Sammlung von verschiedenen Methoden den Ist-Zustand auf Baustellen zu erfassen.

Daten von Firmen zu bestimmten Projekten zu erhalten, stellte sich ebenfalls als schwierig heraus. Emailanfragen wurden nicht beantwortet und auch Telefonanrufe wurden teils recht unwirsch abgetan. Da es möglich war an eine Sammlung von Vorträgen zum Thema BIM im Spezialtiefbau an der TU Darmstadt zu kommen, konnten einige Projekte von Firmen dargelegt werden und so Anforderungen herausgearbeitet werden. Leider war es nicht möglich, digital an weitere Beiträge zu gelangen, da diese in der Regel nur gedruckt zur Verfügung stehen. Firmenwebseiten stellen zwar abgeschlossene und aktuelle Projekte kurz vor, aber diese haben meist wenig Inhalt und sind damit für diese Arbeit unbrauchbar.

Im Zuge der Recherche konnten einige Programme gefunden werden, die speziell zur die Planung von Bohrpfählen genutzt werden. Die Firma DICAD System aus Köln hat eine Software entwickelt, um die Bewehrung für Bohrpfähle schneller berechnen zu können. Die Software heißt STRAKON.⁶⁸ Ebenfalls mit der Berechnung von Bohrpfählen beschäftigt sich die Software WALLS-Verbau vom Softwarehersteller FIDES DV-Partner.⁶⁹ Zu erwähnen wäre auch noch *RIBTEC*, die sich mit Grundbaunachweisen beschäftigen.⁷⁰

Im Anhang befindet sich ein Recherchefahrplan, der eine Übersicht über die genutzte Recherchestrategie liefert.

⁶⁸ DICAD System GmbH 2010, <http://www.dicad.de/>, abgerufen am 21.03.2016

⁶⁹ FIDES DV-Partner GmbH, <http://www.fides-dvp.de/statik-hersteller/fides/baugrubenberechnung/walls-verbau/>, abgerufen am 24.03.2016

⁷⁰ RIB Software AG 2016, <http://www.rib-software.com/de/loesungen/tragwerksplanung/ribtec/bauteilnachweise-im-grundbau.html>, abgerufen am 18.03.2016

5 Beispielmodell

Wie in der Zusammenfassung erwähnt, wurde die bestehende Aufgabenstellung um die Erstellung eines Modells erweitert.

Um diese Arbeit zu unterstützen und die Möglichkeiten, die bereits existieren zu veranschaulichen, wurde mit Hilfe von *Revit 2014* ein Modell erstellt. Durch das Anlegen neuer Familien konnte eine Bohrpfahlwand visualisiert werden.

Im Folgenden wird das Programm kurz näher betrachtet, erläutert, wie die neue Familie erstellt wird, welche Schwierigkeiten auftraten und ob es Alternativen zu Revit gibt, die im Einsatz für den Spezialtiefbau vorteilhafter sind.

5.1 Autodesk Revit 2014 [Kratt]

Revit 2014 ist eine vom Softwarehersteller *Autodesk* entwickelte Anwendung für die Bauplanung und die Konstruktion. Das Programm besteht aus den drei Teilprodukten *Revit Structure* für die Tragwerksplanung (konstruktiver Ingenieur- und Hochbau), *Revit Architecture* für die Gebäudeplanung und *Revit MEP* zur Planung der Gebäudetechnik. es arbeitet objektorientiert und ein speziell für den Einsatz von *Building Information Modeling* entwickelter Teil ist die *Building Design Suite*.⁷¹

Revit ermöglicht die Darstellung und Bearbeitung von 2D Plänen und 3D Modellen. Der Einsatz eines bauteilorientierten Gebäudemodells ermöglicht es, dass vorgenommene Änderungen im Modell sofort in allen Entwürfen und Plänen geändert werden. Um einen problemlosen Austausch von Datenpaketen zu ermöglichen, wird der bereits erwähnte IFC-Standard unterstützt.

Die Software arbeitet mit *Familien*. Eine solche stellt zum Beispiel eine bestimmte Art von Bohrpfählen dar. Wird ein *Familientyp* benötigt, der noch nicht existiert, lässt sich dieser im Familieneditor erstellen und nutzen.⁷² Um nicht jeden einzelnen Bohrpfahl in der Länge anzupassen, besteht die Möglichkeit die Parameter der Familie zu ändern. Dadurch ändern sich die Längen von jedem Bohrpfahltyp dieser *Familie*.

⁷¹ Autodesk Revit, <http://www.autodesk.de/products/revit-family/overview>, abgerufen am 28.03.2016.

⁷² Hiermer (2012), S. 8.

5.2 Modell

In diesem Modell wurden eine Baugrube und eine überschnittene Bohrpfahlwand dargestellt. Um das entstandene 3D-Modell um eine Dimension zu erweitern, wurde versucht, das Modell um den Faktor Zeit zu erweitern. Hierfür wurde mit *MS Project* ein Projektzeitplan erstellt. Um diesen in das Modell einzubinden, muss sowohl das Modell sowie auch der Projektzeitplan in *ceapoint* geladen und dort kombiniert werden.

Es wird das gleiche Geländemodell, wie in der Bachelorarbeit von Frau Kratt verwendet und in ein neues Projekt (*Construction-Vorlage*) geladen. Das Gelände wird mit Hilfe von Punkten, welchen unterschiedliche Höhen zugewiesen werden, erstellt. Das ganze Modell kann in unterschiedlichen Bildstilen angezeigt werden. In Abbildung 14 ist das Gelände als Drahtmodell und in Abbildung 15 als realistisches Geländemodell dargestellt.

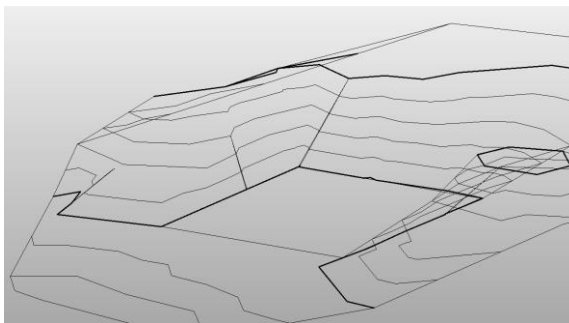


Abbildung 14: Geländemodell Drahtmodell⁷³

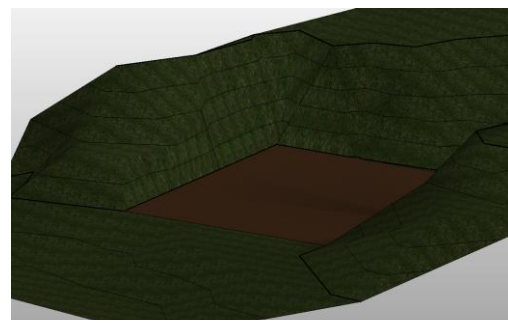


Abbildung 15: Geländemodell realistisch⁷⁴

Revit bietet die Möglichkeit an, falls notwendige *Familien* noch nicht in der Bibliothek zur Verfügung stehen, im *Familieneditor* neue *Familien* zu erstellen. Um nun eine überschnittene Bohrpfahlwand zu visualisieren, ist der erste Schritt, zwei unterschiedliche *Familien* zu erstellen. In diesem Fall kann die Bibliothek nicht verwendet werden, da keine Bohrpfahl-Konstruktion vorgegeben ist.

Die erste Familie *Sekundärbohrpfahl* wird in der Vorlagedatei *M_Allgemeines Modell* gezeichnet. Für die Zeichnung wird ein Referenzbereich gewählt und der Pfahl in Form eines Extrusionskörpers gezeichnet. Es wird sich für einen Durchmesser von 70 Zentimeter und eine Höhe von 25 Meter entschieden. Hier ist zu beachten, dass Revit alle Maße in mm betrachtet, also 700 Millimeter und 25.000 Millimeter. Anschließend wird der Familientyp *Primärbohrpfahl* erstellt. Hier lassen sich dem Pfahl verschiedene Parameter zuordnen. Es wird der Parameter *Material* erstellt und im Material Browser ein Material zugewiesen (hier Beton, leicht). So erhält der Pfahl in der 3D-Ansicht eine realistische Textur (siehe Abbildung 16).

⁷³ Eigene Darstellung in *Revit 2014*.

⁷⁴ Eigene Darstellung in *Revit 2014*.

Als nächster Schritt wird der *Primärbohrpfahl* gezeichnet. Auch hier wird eine neue *Familie* erstellt (Vorlagedatei siehe oben) und der Pfahl als Extursionskörper definiert. Der Durchmesser und die Höhe sind identisch wie die des Primärbohrpfahls. Nur wird der Sekundärbohrpfahl anders konstruiert. Der Körper ist kein ganzer Kreis, sondern ist „angeschnitten“, wie die Abbildung 17 zeigt.



Abbildung 16: Sekundärbohrpfahl realistisch⁷⁵



Abbildung 17: Primärbohrpfahl realistisch⁷⁶

Beide Elemente, die für eine überschnittene Bohrpfahlwand benötigt werden, sind nun konstruiert. Es können nun beide *Familien* in das Projekt geladen werden. Sie werden abwechselnd hintereinandergestellt und ineinandergelegt und bilden so eine Bohrpfahlwand. Anschließend lässt sich das Gelände soweit verändern, dass die Wand in das Gelände eingebettet wird, wie in Abbildung 18 zu sehen ist.

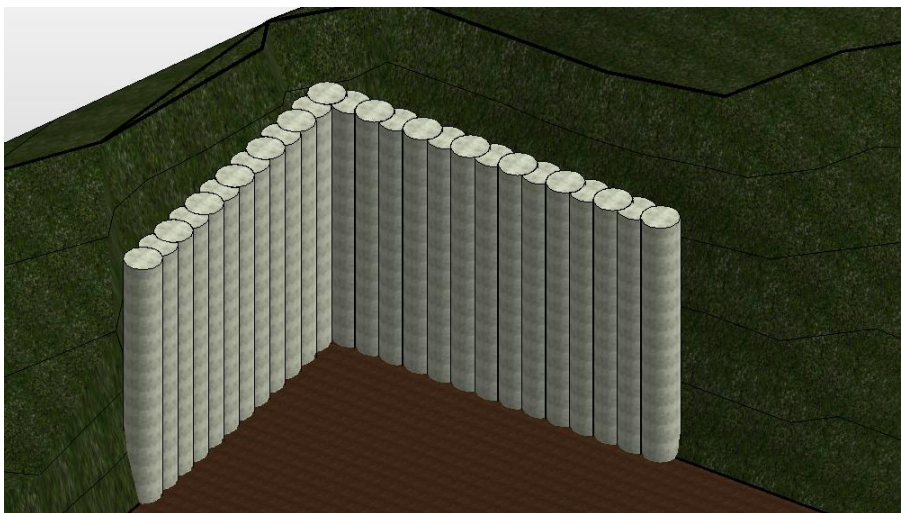


Abbildung 18: Bohrpfahlwand realistisch⁷⁷

⁷⁵ Eigene Darstellung in Revit 2014.

⁷⁶ Eigene Darstellung in Revit 2014.

⁷⁷ Eigene Darstellung in Revit 2014.

Revit 2014 stellt außerdem eine *Render*-Funktion zur Verfügung. Lässt man das Projekt rendern ist das Ergebnis noch realistischer und anschaulicher, wie Abbildung 19 zeigt.

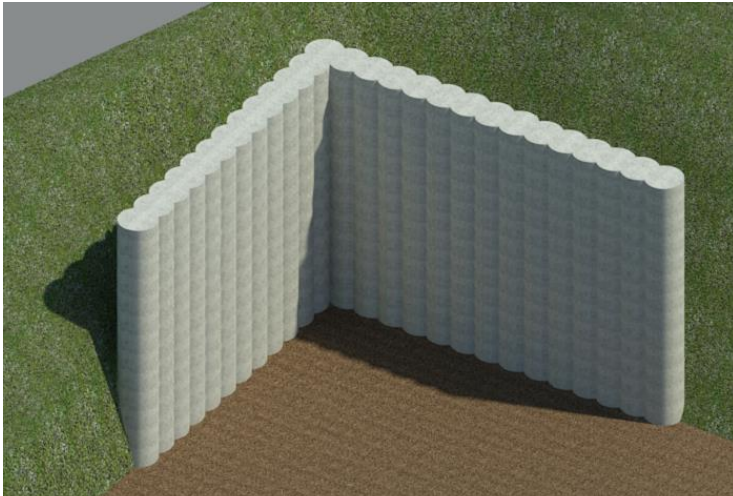


Abbildung 19: Bohrpfahlwand gerendert⁷⁸

Um nun eine Verbindung zu einem Projektzeitplan herzustellen, muss das Projekt als IFC-Datei gespeichert werden, so dass das Modell in das Programm *ceapoint* integriert werden kann. Mit Hilfe von *MS Project* wird ein zum Modell passender Projektzeitplan erstellt. Dieser wiederum kann in das Programm *ceapoint* implementiert und mit dem Gebäudemodell verknüpft werden.

Im Projektzeitplan muss die Reihenfolge, zur Herstellung einer überschnittenen Bohrpfahlwand berücksichtigt werden. Im ersten Schritt wird die Bohrschablone angefertigt. Dann werden die ersten Primärpfähle gebohrt und anschließend mit Beton gefüllt. Nach etwa sechs Stunden Trocknungszeit, kann mit der Ausbildung der Sekundärpfähle begonnen werden. Hierfür werden die Primärpfähle links und rechts angeschnitten. Dadurch entsteht ein kraftschlüssiger Verbund. Die Sekundärpfähle werden mit einem Bewehrungskorb bewehrt und ebenfalls mit Beton verfüllt.⁷⁹ Wird nun das Modell und der Projektzeitplan in *ceapoint* implementiert, können die definierten Abläufe den Bauteilen zugeordnet werden. Da die Dauer zur Herstellung eines Bohrpfahls abhängig vom anstehenden Boden ist, muss eine Annahme zum Boden und zur durchschnittlichen Dauer die für das Abteufen benötigt wird, getroffen werden. In diesem Beispiel wird angenommen, dass ein Kies-Lehm-Gemisch bis in 20 Meter Tiefe und danach eine acht Meter dicke Sandschicht ansteht, in die die Bohrpfähle etwa fünf Meter Tiefe eingebunden werden sollen. Unter diesen Voraussetzungen können im Durchschnitt acht Bohrpfähle am Tag abgeteuft werden. Insgesamt müssen 27 Pfähle gesetzt werden, davon sind 13 Primär- und 14 Sekundärpfähle. Es dauert natürlich länger einen

⁷⁸ Eigene Darstellung in *Revit 2014*.

⁷⁹ Vgl. Buja (2001), S. 49 – 52.

Sekundärpfahl herzustellen. Es muss nicht nur durch den Boden, sondern auch durch die angrenzenden Primärpfähle gebohrt und

anschließend ein Bewehrungskorb eingebaut werden. Festgelegt wird, dass die Herstellung des unbewehrten Pfahls eine Stunde dauert und für die des bewehrten Pfahls eineinhalb Stunden benötigt werden. Außerdem muss der letzte ausgebildete Pfahl am Ende der Woche als Sandpfahl ausgebildet werden. Der entworfene Projektzeitplan ist im Anhang zu finden. Aus diesem ergibt sich, dass für die Herstellung der Bohrpfahlwand insgesamt eine Dauer von acht Tagen benötigt wird.

Durch die Einbindung des Projektzeitplans in das Modell kann sichtbar gemacht werden, wann ein bestimmtes Bauteil fertiggestellt ist oder wie weit der Baufortschritt zu einem bestimmten Datum fortgeschritten ist. Auch eine Kollisionsüberprüfung kann durchgeführt werden.

5.3 Analyse und Ergebnisse

Durch die einfache Erweiterbarkeit von Revit ist das Programm in fast allen Bereichen des Bauwesens anwendbar. Nicht vorhandene Bauteile lassen sich, mit ein bisschen Übung, erstellen und im Modell nutzbar machen. Viele Hersteller bieten inzwischen Modelle ihrer Produkte an. In meinem Fall hatte zum Beispiel *Hafner's Büro* eine Bohrpfahlwand mit Rückverankerung und Bewehrung (Familie des Monats Juni 2014⁸⁰) erstellt. Dieses war jedoch nicht kostenlos zugänglich und auch eine Emailanfrage wurde leider nicht beantwortet. Die schon erwähnte Inkompatibilität innerhalb des Programmes stellt ein Problem dar. Werden *Familien* in der 2014er Version erstellt, ist es nicht möglich diese in der 2015er Version zu öffnen. Hier muss eine Lösung gefunden werden, da sonst die längere Nutzung eines Gebäudemodells nicht sinnvoll ist. Für den Tiefbau wäre die Herstellung einer Baugrube eine interessante Möglichkeit. Dies ist in *Revit 2014* leider nicht möglich.

Die Erweiterung über die Software *ceapoint* ermöglicht eine Implementierung von Projektzeitplänen, was durchaus sinnvoll ist. Ebenso die Kollisionsprüfung in *Revit*. Da aber beim Baugrubenverbau eher geotechnische Bemessungen zur Standsicherheit interessant sind, gibt es geeignetere Software zur Anwendung im Spezialtiefbau.

Im Zuge dieser Arbeit habe ich herausgefunden, dass ein perfektes 3D-Modell nicht im Vordergrund steht, sondern die Nutzung von *Building Information Modeling* im Spezialtiefbau eher zur Überwachung und Kontrolle genutzt wird. Deshalb ist *Revit* nur begrenzt zu empfehlen.

⁸⁰ „Familien des Monats“, <http://www.hafners-buero.de/bauwesen/beratung/downloads/revit-architecture-familien.html>, abgerufen am 28.03.2016

6 Fazit

In dieser Arbeit wurde ein Überblick über die aktuelle Lage in der Bauwirtschaft verschafft, Grundlagen für *Building Information Modeling* und den Erdbau gelegt und ein Einblick in die Gefahren und Methoden des Spezialtiefbaus gegeben. Außerdem Anforderungen an Building Information Modeling zur Anwendung im Spezialtiefbau erarbeitet.

BIM findet jedoch verhältnismäßig wenig Anwendung im Spezialtiefbau. Gründe dafür gibt es viele, wie zum Beispiel, die noch nicht eindeutig geklärte Rechtslage. Hier müssen Gerichte Grundsatzurteile fällen, wie die Vergütung erfolgt, oder wer für die Richtigkeit oder auch im Schadensfall haftet. Sind diese Hemmnisse überwunden, steht einer flächendeckenden Einführung nichts im Wege.

Wie im Rechercheteil herausgefunden wurde, macht der Einsatz von Building Information Modeling auch im Spezialtiefbau Sinn und bietet einen großen Mehrwert. Es wird möglich Beobachtungen, Qualitätssicherung und Risikomanagement zu überwachen und zielführend zu vereinen. Viele der genutzten Maschinen erstellen sowieso kontinuierlich Daten, wie zum Beispiel Bohrprotokolle oder ähnliches. Diese lassen sich auf einer Datenplattform sammeln, sortieren und anschließend auswerten.

Es besteht jedoch noch einiger Forschungsbedarf welche Maßnahmen zielführend sind und welche Datennutzung oder Erhebung tatsächlich Sinn macht.

Quellenverzeichnis

Albrecht (2014) Albrecht, Matthias: *Building Information Modeling (BIM) in der Planung von Bauleistungen*. Hamburg: Disserta-Verl. 2014

ARCHmatic (2014) ARCHmatic: *Neue EU Richtlinie könnte BIM auch in Deutschland zum Durchbruch verhelfen*. Hg. v. Baulinks.de Media & Werbung.
<http://www.baulinks.de/bausoftware/2014/0024.php4>, abgerufen am 23.03.2016.

Bauer (2007) Bauer, H.: *Baubetrieb*. Berlin: Springer Verlag. 2007

BAUER (2014) BAUER Gruppe: *Pressemitteilung. Bauer Spezialtiefbau führt Ertüchtigung am Center-Hill Damm aus*.
https://www.bauer.de/de/press/press_articles/2014/2014_03_center_hill_dam.html,
abgerufen am 22.03.2016.

BAUER Spezialtiefbau GmbH BAUER Spezialtiefbau GmbH (Hg.): *Imagebroschüre*. PDF-Datei. 2016

BIM Task Group 2013) BIM Task Group: *Welcome to the BIM Task Group Website*. Hg. v. Department for Business, Innovation and Skills. <http://www.bimtaskgroup.org/>,
abgerufen am 22.03.2016.

Both et. al. (2012) Both, Petra von; Koch, Volker; Kindsvater, Andreas: *BIM – Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan*. Hg. v. Fraunhofer IRB Verlag. Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe. 201 2

buildingSMART e.V. (2015) buildingSMART e.V.: *Presseinformation*. Berlin.
<http://www.buildingsmart.de/kos/WNetz?art=News.show&id=243>, abgerufen am 22.03.2016.

Buja (2001) Buja, Heinrich Otto: *Handbuch des Spezialtiefbaus. Geräte und Verfahren*. 2., neu bearb. und wesentlich erw. Aufl. Düsseldorf: Werner. 2001

DIN 18300 DIN 18300, August: *VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Erdarbeiten*. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Ausgabe 08-2015

DICAD System GmbH (2010) DICAD System GmbH: *Einsatz von STRAKON unterstützt Ausbauarbeiten auf A40*. <http://www.dicad.de/dicad/news/2010/06.html>, abgerufen am 23.03.2016.

Eichler (2009) Eichler, Klaus: *Spezialtiefbau. Erkundung und Ausführung ; Technik und Umwelt ; Methoden und Auswirkungen ; Baustoffe und Verfahren ; mit 77 Tabellen*. 3., neu bearb. Aufl. Renningen: expert-Verl. (Kontakt & Studium, 566). 2009

Ferger (2014) Ferger, Martin: *Dissertation M. Ferger*. PDF-Datei. Dissertation. Universität Siegen, Siegen. Lehr- und Forschungsgebiet Baubetrieb und Bau-Projektmanagement, abgerufen am 06.01.2016.

Günthner und Borrmann (2011) Günthner, Willibald A.; Borrmann, André : *Digitale Baustelle - innovativer Planen, effizienter Ausführen - Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert*. Berlin: Springer Verlag. 2011

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2015) Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.: *Bedeutung der Bauwirtschaft*. Hg. v. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. Online verfügbar unter <http://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/bedeutung-der-bauwirtschaft/>, abgerufen am 23.03.2016.

Hiermer (2012) Hiermer, Manfred: *Revit Familien-Editor. Content-Erstellung leicht gemacht*. 1. Aufl. Heidelberg, Hamburg: mitp Verl.-Gruppe Hüthig Jehle Rehm. 2012

Katzenbach (2016) Katzenbach, Rolf (Hg.): *Mitteilung des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik. Vorträge zu 23. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium am 10. März 2016*. Darmstadt. Technische Universität Darmstadt (97). 2016

Kirchbach (2014) Kirchbach, Kim: *Anwendung von Lean-Prinzipien im Erdbau – Entwicklung eines Baustellenleitstands auf Basis von Virtual Reality*. PDF-Datei. Dissertation, abgerufen am 06.01.2016.

Nemetschek Group (2016) Nemetschek Group, <http://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/>, abgerufen am 28.03.2016.

RIB Software AG (2016) RIB Software AG: *Grundbaunachweise*. <http://www.rib-software.com/de/loesungen/tragwerksplanung/ribtec/bauteilnachweise-im-grundbau.html>, abgerufen am 23.03.2016.

- Schmidt (1996)** Schmidt, Hans-Henning: *Grundlagen der Geotechnik. Bodenmechanik - Grundbau - Erdbau*. Wiesbaden, s.l.: Vieweg+Teubner Verlag.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-94732-1>. 1996
- Schoof (2014)** Schoof, Jakob: *BIM in der Architektur: Verweigern oder durchstarten?* Hg. v. DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail. <http://www.detail.de/artikel/bim-in-der-architektur-verweigern-oder-durchstarten-12977/>, veröffentlicht am 09.12.2014, abgerufen am 23.03.2016.
- Statistisches Bundesamt (2016)** Statistisches Bundesamt: *Anteile kleiner und mittlerer Unternehmen an ausgewählten Merkmalen 2013*. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/UnternehmenHandwerk/KleineMittlereUnternehmenMittelstand/Tabellen/Baugewerbe.html>, abgerufen am 23.03.2016.
- Steinmetzger und Bargstädt (2010)** Steinmetzger, Rolf; Bargstädt, Hans-Joachim: *Grundlagen des Baubetriebswesens : Skriptum zur Vorlesung. Schriften der Professur Baubetrieb und Bauverfahren*. Bauhaus-Universität, Weimar. Professur Baubetrieb und Bauverfahren. 2010
- Wimmer (2014)** Wimmer, Johannes: *Ereignisorientierte Simulation und Optimierung im Erdbau*. PDF-Datei. Technische Universität München, abgerufen am 06.01.2016.
- Wimmer et. al. (2013)** Wimmer, Johannes; Horenburg, Tim; Günthner, Willibald A.; Borrmann, André: *FAUST. Fertigungssynchrone Ablaufsimulation von Unikatbaustellen im Spezialtiefbau*. PDF-Datei. Proceedings of the second international BBB Congress. Darmstadt. 2013
- Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (2010)** Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (Hg.): *Simulation der Logistik auf Erdbaustellen*. Unter Mitarbeit von Willibald A. Günthner. Logistics Journal. Rostock-Warnemünde, abgerufen am 06.01.2016.

Abbildungsverzeichnis

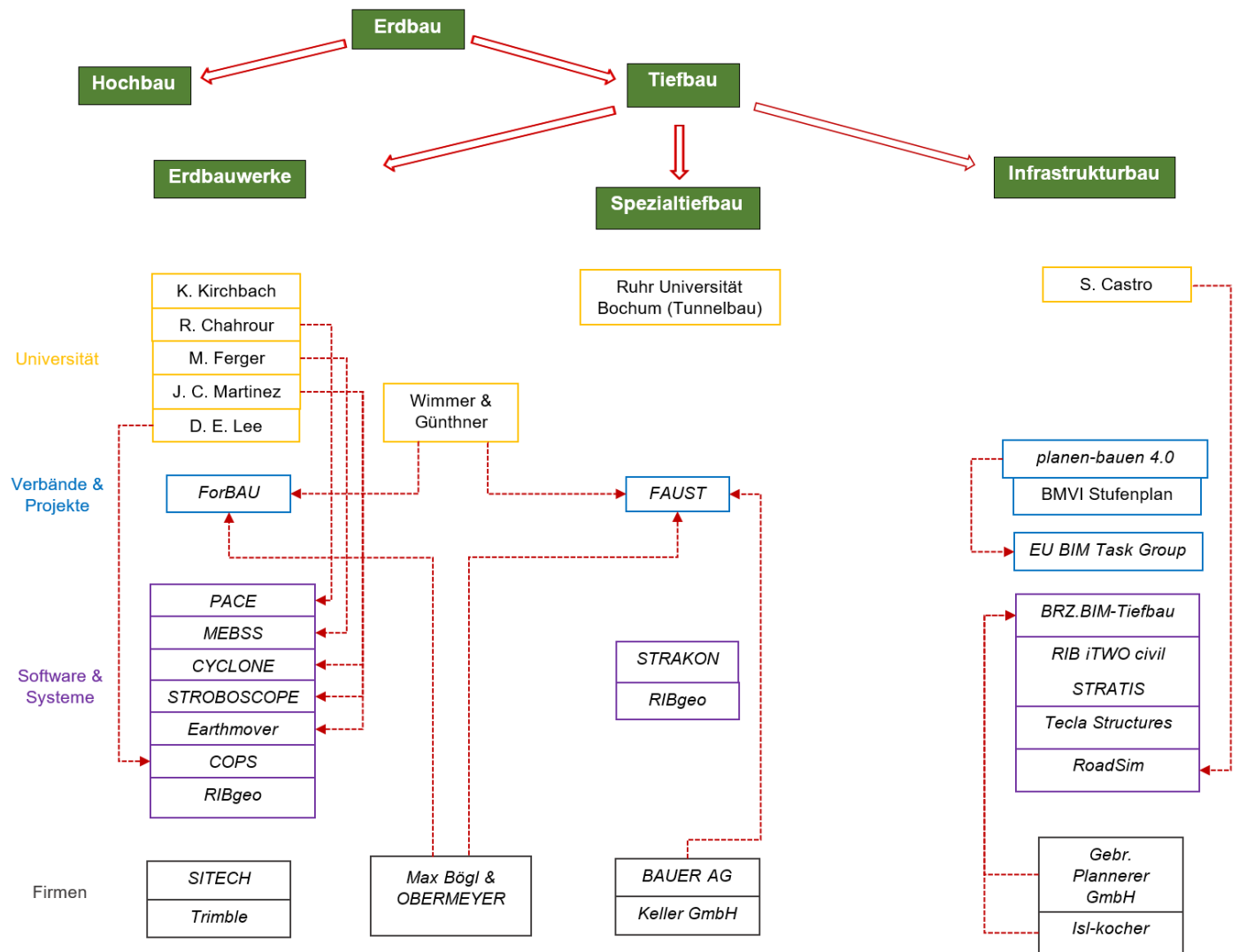
Abbildung 1: Klassischer Bauablauf (links), Bauablauf mit BIM (rechts).....	5
Abbildung 2: Schematische Darstellung Erdbau.....	9
Abbildung 3: Grundrisse von Bohrpfahlwänden.....	14
Abbildung 4: Mehrfachverankerte Bohrpfahlwand.....	15
Abbildung 5: Systemskizze Drehbohrgerät.....	15
Abbildung 6: Arbeitsschritte beim <i>Soilcrete</i> -Verfahren.....	16
Abbildung 7: Übersicht der Akteure.....	20
Abbildung 8: Abhängigkeitsgraph.....	22
Abbildung 9: Konzept für GPS-Tracking von Transportfahrzeugen.....	22
Abbildung 10: Fotogenerierte Punktwolke der Baugrube.....	23
Abbildung 11: Konvexe Hülle der Punktwolke.....	23
Abbildung 12: Center-Hill Damm.....	26
Abbildung 13: Verwendete Schlitzwandbagger.....	26
Abbildung 14: Geländemodell Drahtgitter.....	32
Abbildung 15: Geländemodell realistisch.....	32
Abbildung 16: Sekundärpfahl realistisch.....	33
Abbildung 17: Primärpfahl realistisch.....	33
Abbildung 18: Bohrpfahlwand realistisch.....	33
Abbildung 19: Bohrpfahlwand gerendert.....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifikation der Anforderungen	7
Tabelle 1:	Interne und externe Einflüsse auf Erdbaustellen	10
Tabelle 1:	Arbeitsbereiche im Spezialtiefbau	14
Tabelle 1:	Vor- und Nachteile des Düsenstrahlverfahrens	16

Anhang

A1: Übersicht der Akteure⁸¹



⁸¹ Eigene Darstellung.

A2: Recherchefahrplan

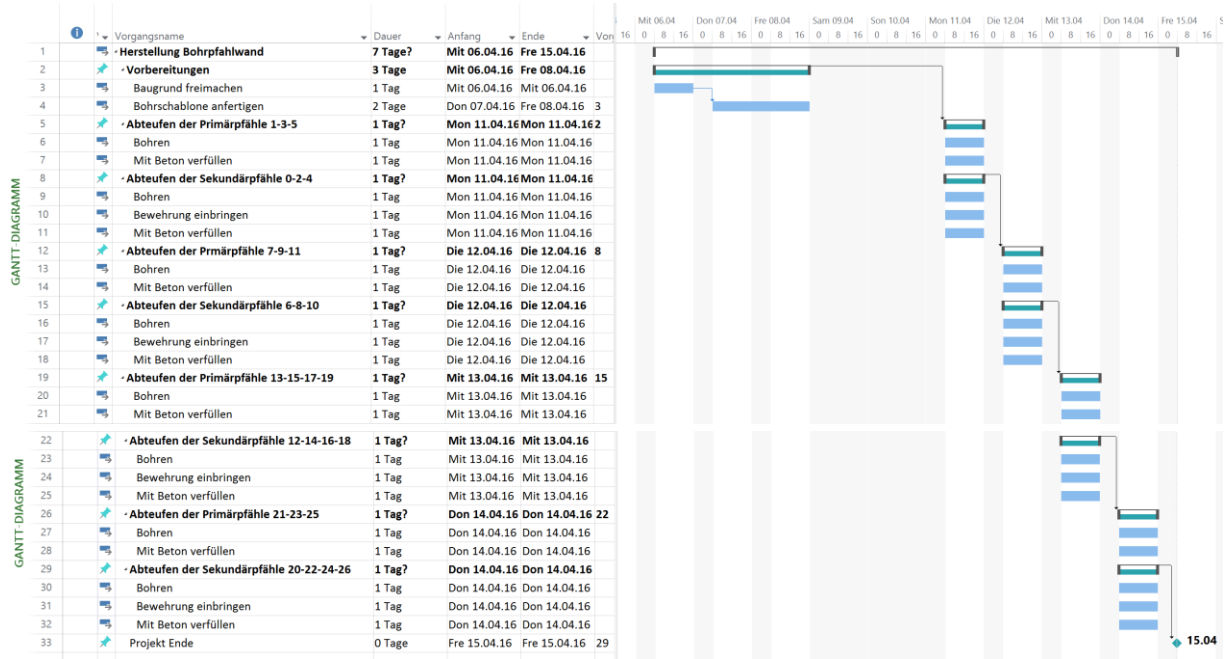
Literatur:

- Nutzen des OPAC-Katalogs und Suchen in der Bibliothek
 - o Ergebnisse entweder zu Spezialtiefbau oder BIM
 - o Bücher zum Spezialtiefbau:
 - Buja „Handbuch des Spezialtiefbaus
 - Eichler „Spezialtiefbau“
 - Liebherr-Werk Nenzing GmbH „Spezialtiefbau“
 - o Bücher *Building Information Modeling*:
 - Albrecht „*Building Information Modeling* in der Planung von Bauleistungen“
 - o Bücher zu Revit
 - Hiermer „Revit Familien-Editor“
- Zur Verfügung gestellte Werke:
 - o „Vorträge zum 23. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium am 10.März 2016“ von Her Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach. Diese Sammlung war sehr nützlich.

Internet:

- Nach „Spezialtiefbau“ zu suchen hat wenig Sinn, da einem dort alle ausführenden Firmen die sich in diesem Bereich beschäftigen aufgelistet werden. Hierzu zählen: BAUER Spezialtiefbau GmbH, Züblin Spezialtiefbau GmbH, Keller GmbH, etc.
- Zu dem Begriff „Building Information Modeling“ ist unglaublich viel zu finden, nicht aber im Zusammenhang zum Spezialtiefbau. Es gibt zahlreiche Treffer die zu Hochbauwerken führen.
- Kombiniert man die Begriffe finden sich einige Hinweise zu Veranstaltungen und Vorträgen und in welchen Büchern beide Begriffe auftauchen, was wenig zielführend ist. Als Forschungsprojekt taucht FAUST von der TU München auf welches in der vorliegenden Arbeit näher beschrieben wurde.
- An weitere Sammelwerke zu Vorträgen, wie das Geotechnik-Kolloquium, zu kommen war nicht möglich. Eine Internetsuche dazu verlief ergebnislos
- Um Projekte, in denen Firmen Erfahrungen mit BIM gemacht haben, zu finden, wurden Pressemitteilungen durchforstet und versucht Schlüsse zu ziehen. Aber auch das stellte sich als schwierig heraus, da wenige Firmen genauere Informationen zur Verfügung stellen. Dies geschieht meist auf Fachvorträgen.
- Um das Modell zu erstellen wurden diverse Tutorials auf Youtube genutzt

A3: Projektzeitenplan



Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die Arbeit wurde weder in dieser oder einer ähnlichen Form noch in Auszügen bereits einer Prüfstelle vorgelegt.

Weimar, 16.05.2016

Tobias Steinkrauß